



Universidade de Aveiro
2008

Departamento de Engenharia Civil

**Ana Claudia Furtado
Correia da Silva**

**Aplicação de Ferramentas de Análise do Ciclo de
Vida na Sustentabilidade da Construção – Estudo de
Caso**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do co-orientador Dr. Paulo Barreto Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

presidente

Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Paulo Barreto Cachim
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Luis Manuel Cortesão Godinho
professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Dr. Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

palavras-chave

Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida, Construção Sustentável, Edifício, Impacto ambiental.

resumo

A construção e exploração de edifícios consome energia, materiais e água em grandes quantidades, que se torna legítimo dizer que o seu desenvolvimento sustentável depende, de alguma forma, do sector da construção. A União Europeia tem empreendido grandes esforços no sentido de desenvolver estratégias para a minimização de impactos ambientais resultantes da actividade da construção e promover as condições necessárias para que a indústria da construção se torne cada vez mais competitiva. Para tal foram identificados três factores tidos como fundamentais para o desenvolvimento sustentável da construção: a utilização de materiais “amigos do ambiente”, a eficiência energética dos edifícios e a gestão dos resíduos resultantes da construção como da demolição de estruturas.

O objectivo principal deste trabalho é a apresentação de um caso de estudo que caminhe para uma solução final pensada e definida tendo em consideração os objectivos principais da construção sustentável, aplicando uma ferramenta de análise do ciclo de vida. A opção por uma moradia unifamiliar resultou em grande parte do facto deste sector da construção ser um sector estratégico para o crescimento das construções metálica e madeira a nível global e onde, em Portugal, imperam ainda as soluções de betão. Após definido o modelo de moradia, foi inserido no software Canadano de análise do ciclo de vida ATHENA, as três soluções construtivas para o estudo comparativo: betão, aço e madeira. Dos resultados obtidos do programa, a principal conclusão a tirar foi que, comparativamente a outros estudos já realizados nesta área, a solução de madeira é a solução mais adequada do ponto de vista ambiental com menor consumo de energia, de materiais e gerando menos resíduos sólidos.

A utilização de soluções construtivas que constam na base de dados do programa condicionou as escolhas a adoptar, podendo levar a conclusões um pouco distorcidas da realidade Portuguesa.

keywords

Sustainability; Life Cycle Assessment; Sustainable construction, building, environmental impact.

abstract

Constructing and exploring buildings demands high quantities of energy, materials and water, which makes it legitimate to say that their sustainable development depends, to some extent, on the building trade. The European Union has been deeply involved in the development of novel strategies aimed at diminishing building environmental impacts and at promoting the necessary conditions for the building trade to become more and more competitive. To achieve such objectives, three factors have been considered as fundamental for the building sustainable development, namely the use of environment-friendly materials, the energetic efficiency of buildings and the management of wastes resulting from construction and structure demolitions.

The main goal of this study is to present a study case, which may lead to a final solution based on the main principles of sustainable building. The option for a one-family house is due to the fact that building is strategically still very important for the growing of the metallic and wood building sector, bearing in mind that in Portugal concrete solutions still reign. After defining the house model, the three building solutions (concrete, steel and wood) were inserted in the Canadian software of life cycle analysis ATHENA. From the results obtained with the software, the main conclusion was that, in comparison with previous studies in the same field, the wood solution is the most adequate in terms of environment, with less energy and materials consumption and producing thus less solid wastes.

The use of the building solutions, that exist in the software database, has restricted the options to take, leading eventually to a distort view of the Portuguese reality.

Índice

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	7
1 Introdução	10
1.1 Objectivos da Tese	10
1.2 Estrutura da Tese	11
2 A Sustentabilidade da Construção	13
2.1 As questões da sustentabilidade na construção	14
2.2 Indicadores da sustentabilidade	14
2.3 Soluções construtivas não convencionais na sustentabilidade da construção	19
2.3.1 Sistema Construtivo com estruturas metálicas leves (Light Gauge Steel Framing)	20
2.3.2 Sistema Construtivo com Betão Celular Autoclavado	22
2.3.3 Sistema Construtivo com Aglomerado de cortiça expandida nos Edifícios	25
2.4 Processos construtivos - Enquadramento nacional	29
2.4.1 Betão	30
2.4.2 Aço	31
2.4.3 Madeira	32
3 Avaliação do Ciclo de Vida	33
3.1 Metodologia de Avaliação do Ciclo de vida	34
3.2 Ferramentas de Avaliação do ciclo de Vida – sistemas de Avaliação Ambiental	38
3.2.1 Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)	39
3.2.2 Comprehensive Assessment system for building efficiency (CASBEE)	42
3.2.3 ATHENA – Environmental Impact Estimator	48
4 Estudo de caso: ACV dos processos construtivos apoiada pelo programa ATHENA	53
4.1 Introdução	53
4.2 Metodologia experimental	54
4.3 Resultados e Discussão	59
4.3.1 Consumo de Energia Primária Inicial	63
4.3.2 Emissões de resíduos sólidos	65
4.3.3 Índice de poluição do ar	67
4.3.4 Índice de poluição da água	70
4.3.5 Potencial de aquecimento global	71
4.3.6 Consumo de recursos naturais utilizados	72

5	Conclusões e Perspectivas	75
6	Referências Bibliográficas	78

Lista de Figuras

Figura 1 - Fases do Ciclo de vida de uma construção sustentável	14
Figura 2 - As dimensões da sustentabilidade	16
Figura 3 - Construção Sustentável	17
Figura 4 - Montagem dos painéis/estruturas	20
Figura 5 - Elevação das Estruturas	20
Figura 6 - Aplicação da manta de subcobertura	21
Figura 7 - Execução da cobertura	21
Figura 8 - Detalhes de Execução - Perfis Utilizados	21
Figura 9 - Utilizações de aglomerados de cortiça nas paredes	25
Figura 10 - Pormenor de Execução em coberturas Inclínadas	27
Figura 11 - Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001)	35
Figura 12 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida [ISO 14040:1997	36
Figura 13 - Esquema da obtenção do Índice de Desempenho Ambiental (EPI), utilizado pelo BREEAM (BALDWIN et al., 1998)	42
Figura 14 - Estrutura CASBEE.	44
Figura 15 - Formulários originais da avaliação com o de CASBEE [JSBC, 2002]	46
Figura 16 - Diagrama de eficiência ambiental do edifício (BEE)	47
Figura 17 - Janela do programa – Athena Tree Control	48
Figura 18 - Descrição Geral do Projecto	49
Figura 19 - Gráficos para os seis impactos ambientais	50
Figura 20 - Tabelas para os seis impactos ambientais	50
Figura 21 - Comparação dos processos construtivos	51
Figura 22 - Plantas e Alçados do modelo de avaliação	55
Figura 23 - Introdução dos dados gerais para cada projecto	56
Figura 24 - Athena Tree Control	57
Figura 25 - Energia primária consumida nas diversas etapas do Ciclo de Vida (produção, construção, manutenção, demolição e a envolvente total do edifício)	63
Figura 26 - Energia primária consumida nas diferentes fases da construção: fundações, paredes, vigas e colunas, piso e cobertura	64
Figura 27 - Emissões de resíduos sólidos	65
Figura 28 -Emissões resíduos sólidos nas fases de construção: fundações, paredes, vigas e colunas, piso e cobertura	66
Figura 29 - Índice de poluição do ar	67
Figura 30 - Poluentes do Ar – Solução de Betão	68

Figura 31 - Poluentes do Ar - Solução metálica	69
Figura 32 - Poluentes do Ar - Solução madeira	69
Figura 33 - Emissões líquidas	70
Figura 34 - Potencial de Aquecimento Global na análise do ciclo de vida	72
Figura 35 - Recursos naturais utilizados na análise do ciclo de vida	73

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estrutura de avaliação do BREEAM 98 (BALDWIN <i>et al.</i> , 1998)	41
Tabela 2 - Classificação provável no BREEAM, conforme pontos obtidos na lista de verificação simplificada	42
Tabela 3 - Ferramentas de avaliação que compõem o CASBEE	43
Tabela 4 - Modificação proposta pelo CASBEE para aplicação do conceito de eco eficiência em avaliações ambientais de edifícios [JSBC, 2002].	44
Tabela 5 - Estrutura de avaliação do CASBEE	45
Tabela 6 - Resumo dos resultados obtidos	52
Tabela 7 - Fundações	58
Tabela 8 - Vigas e Pilares	58
Tabela 9 - Piso / Cobertura	59
Tabela 10 - Paredes Exteriores	59
Tabela 11 - Avaliação do Ciclo de Vida da solução de betão	60
Tabela 12 - Avaliação do Ciclo de Vida da solução metálica	61
Tabela 13 - Avaliação do ciclo de vida da solução de madeira	62

1 INTRODUÇÃO

As preocupações do homem actualmente estão focadas no futuro do planeta e a capacidade de manter as condições de reprodução humanas. As próximas gerações precisam de dispor de recursos naturais, ar puro, água potável e solos férteis, pois sem isso as perspectivas de sobrevivência são muito negativas.

O sector da construção civil é um dos principais responsáveis pela escassez de recursos naturais, facto este que se justifica devido a um consumo de cerca de 40% de matérias-primas como areia, pedra britada, cascalho, entre outros [Librelotto, 2006].

O consumo destes recursos não diz respeito apenas à matéria-prima incorporada, mas também está relacionada com os resíduos gerados durante a vida útil do edifício. Os desperdícios gerados por obras mal projectadas e/ou executadas, o uso de tecnologias inadequadas devem ser combatidas com a selecção de materiais e técnicas de construção que causem menor impacto possível sobre a natureza de forma a reduzir os danos causados. Porém, a identificação de produtos com viabilidade económica e ambiental não é uma tarefa fácil. Para tal deve-se ter em conta a possibilidade de reciclagem e eficiência energética dos materiais, o carácter renovável da matéria-prima, entre outros factores.

1.1 Objectivo da Tese

O objectivo principal desta tese prende-se essencialmente com o estudo de ferramentas de análise do ciclo de vida dos materiais e edifícios, bem como a aplicação de um estudo de caso, considerando para tal três processos construtivos diferentes: em betão, aço e madeira.

Esta avaliação do ciclo de vida das diferentes soluções construtivas irá ter como esqueleto principal indicadores ambientais que servirão de análise para a sustentabilidade da construção.

Aborda-se apenas o sector dos edifícios, em especial o sector da habitação, por este possuir mais impacto na sociedade em geral e pelo elevado peso no mercado da construção nacional.

Com esta tese pretende-se reunir alguns exemplos de soluções construtivas não convencionais que surgiram da procura de soluções mais sustentáveis para a construção.

Com este estudo tenta-se promover junto dos arquitectos e engenheiros a necessidade para avaliar as questões ambientais nas suas decisões com vista à selecção de soluções que tornem os edifícios mais sustentáveis.

1.2 Estruturação da Tese

A apresentação e desenvolvimento dos vários temas da tese encontram-se organizados em 5 capítulos.

No primeiro capítulo definem-se os principais objectivos e metas a alcançar, bem como enumerar os seus itens.

No segundo capítulo é efectuado o enquadramento da mesma, onde se apresentam os conceitos gerais da sustentabilidade da construção e os seus principais indicadores. Apresentam-se também sistemas de construção e soluções construtivas não convencionais que são consideradas mais sustentáveis que as convencionais, bem como as dificuldades adjacentes à sua implementação. Foca-se neste capítulo aspectos que devam ser considerados na selecção dos processos construtivos para os edifícios, bem como as principais razões do atraso da indústria da construção em relação às demais indústrias.

No terceiro capítulo abordam-se todas as questões relacionadas com a análise do ciclo de vida e algumas ferramentas existentes para realizar essa quantificação. É feita uma síntese de alguns aspectos importantes sobre cada uma delas e numa forma mais sucinta, apresenta-se a ferramenta que servirá de base para a realização do estudo de caso.

O estudo de caso escolhido para aplicação da ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), envolvendo a comparação de diferentes processos construtivos, será abordado no quarto capítulo. Aqui ter-se-á a oportunidade de explorar o programa Athena e os vários parâmetros ambientais na ACV. Tentar-se-á deste modo seleccionar produtos e processos construtivos com maior potencialidade de virem a ser implementados no nosso País.

Por fim, apresentam-se as conclusões obtidas nos pontos anteriores, bem como uma conclusão final sobre os resultados mais importantes no estudo de caso da ACV na sustentabilidade da construção, referindo os pontos fortes e pontos a melhorar.

2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

O conceito de construção sustentável emergiu a partir da segunda metade do século XX, quando se começou a ganhar consciência que o desenvolvimento humano estava a pôr em causa a sobrevivência humana futura.

O elevado crescimento da população no nosso planeta e o elevadíssimo ritmo de consumo de recursos naturais irá em poucos anos, levar à extinção desses recursos, colocando deste modo, em risco a vida na Terra.

De igual de modo, o ser humano não tem demonstrado o menor respeito pelo ambiente, livrando-se de qualquer forma dos resíduos das suas actividades (resíduos urbanos e industriais, etc). Neste âmbito, a indústria da construção não se diferencia das restantes indústrias, sendo ela também responsável pelo expressivo estado de degradação ambiental do planeta.

Assim sendo, o conceito de desenvolvimento sustentável foi ganhando consistência, tendo sido enfatizado no Relatório de Brundtland [World Commission on Environment and Development, 1987], onde foi definido como:

“Desenvolvimento Sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.

O relatório de Brundtland foi crucial para a mudança de paradigma sendo o desenvolvimento sustentável compreendido como o equilíbrio e a convivência harmoniosa entre três dimensões: económica, social e ambiental.

Em 1992 realizou-se no Rio de Janeiro a conferência das Nações Unidas para o Ambiente e o Desenvolvimento Humano, também conhecida pela Cimeira da Terra, da qual resultou a elaboração de um documento designado por Agenda 21, dando um importante contributo para a consolidação do conceito de Desenvolvimento Sustentável.

É a partir deste conceito que nasce o conceito de construção sustentável, proposto pela primeira vez por Charles Kibbert, em 1994, numa conferência realizada em Tampa, nos EUA, para descrever as responsabilidades da indústria da construção na concretização dos objectivos da sustentabilidade.

2.1 As questões da sustentabilidade da construção

Em Portugal o sector da construção representa aproximadamente 553 mil trabalhadores (10,7% do emprego nacional), 5,5% do PIB – Produto Interno Bruto e 49% do investimento. [Revista Concreto da AICCOPN, 2007].

Estes valores correspondem à utilização de um enorme volume de matérias-primas (recursos naturais), materiais e componentes na construção e à produção de resíduos da construção e à demolição (estima-se que cada Português produza em média cerca de 400 kg de resíduos por ano). Estes valores mostram só por si, a importância do sector em termos de desenvolvimento sustentável.

Para tal e no sentido de se alcançar os objectivos de sustentabilidade traçados internacionalmente torna-se urgente realizar mudanças no processo construtivo tradicional, de forma a corrigir formas de actuar ao nível dos materiais, produtos e processos construtivos que não respeitem os critérios da sustentabilidade.

Entende-se assim que os princípios do desenvolvimento sustentável devem ser aplicados ao ciclo de vida global da construção, desde a extracção das matéria primas, passando pelo planeamento, projecto (materiais e elementos estruturais), construção e manutenção de edifícios, até à sua demolição final e gestão dos resíduos dela resultante (fig. 1).

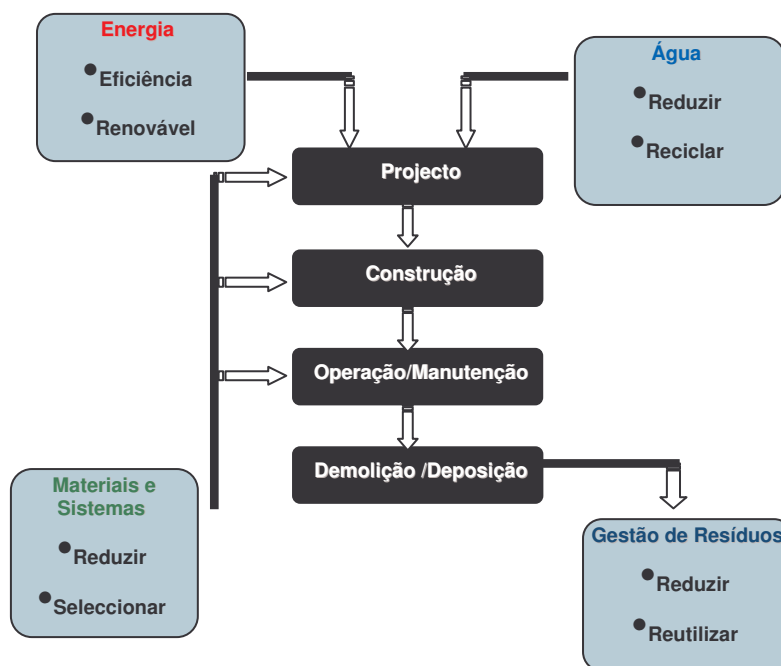


Figura 1. Fases do Ciclo de vida de uma construção sustentável

Para que uma construção seja sustentável devemos considerar na sua realização seis aspectos, ou seja, que:

1. Satisfaça tecnicamente e seja funcional para o seu dono
2. Tenha as condições de segurança e conforto térmico e acústico desejável
3. Seja durável ao longo do seu ciclo de vida
4. Seja esteticamente agradável
5. Seja compatível com os interesses económicos - com custos reduzidos e vantajosos
6. Traduza o menor impacto ambiental para a sociedade, com reaproveitamento de materiais, aproveitamento solar, etc.

Obviamente que indubitavelmente aquele que ocupa primordial importância na indústria da construção é o económico, deixando sempre para segundo plano a durabilidade e o impacto ambiental.

A construção assume um papel importante no que respeita à responsabilidade da degradação do meio-ambiente. No entanto, muito se pode fazer para virar esta tendência, pois devido ao atraso que a indústria da construção Portuguesa tem, a introdução de novas tecnologias vai permitir aumentar o desenvolvimento sustentável. Torna-se pois, impossível manter uma política de desenvolvimento do meio ambiente baseado em sistemas energéticos com fontes não renováveis, e em manter a estratégia traçada para o destino a dar aos resíduos produzidos pela actividade humana.

Nos dias de hoje, o Desenvolvimento Sustentável é pois mais do que a protecção do meio ambiente. Implica sim uma preocupação das gerações futuras na melhoria da qualidade de vida, não só no crescimento económico mas também num ambiente tão bom como aquele que usufruímos actualmente sempre preocupado com as problemáticas sociais e bem-estar humano.

O desenvolvimento sustentável é definido em três dimensões: económica, socio-cultural e ambiental. Actualmente o que tem mais força é o desenvolvimento económico, relegando para segundo plano o social e o ambiental.

Uma metodologia para avaliação da sustentabilidade de um sistema construtivo deve considerar as três dimensões referidas, tal como indicado na Fig.2.

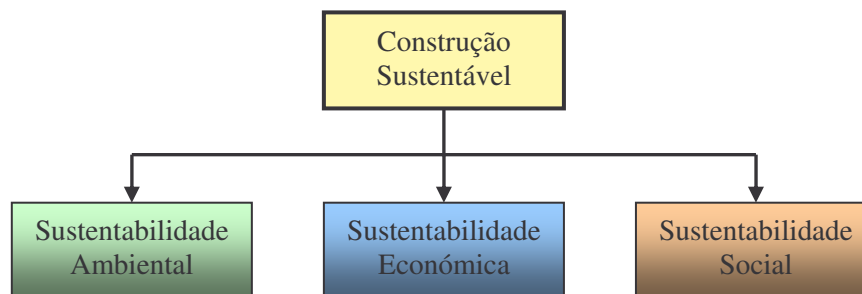


Figura 2. As dimensões da sustentabilidade

A construção sustentável implica a adopção dos princípios do Desenvolvimento Sustentável ao ciclo global da construção desde a extracção das matérias-primas até à sua demolição e destino final dos resíduos resultantes – análise do berço à cova – e que visa sobretudo estabelecer um equilíbrio entre o ambiente natural e o ambiente construído.

A indústria da construção sendo um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais e pela produção de resíduos desempenha um papel fundamental no Desenvolvimento Sustentável. Desta forma para ser considerada uma indústria sustentável, tem pela frente um grande desafio, talvez maior do que em qualquer outro sector industrial.

Na União Europeia, a Comissão Europeia tem desenvolvido grandes esforços no sentido de desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela indústria da construção e pelo ambiente construído e simultaneamente melhorar as condições para a competitividade da indústria da construção.

Para tal identificam-se os 3 principais aspectos da sustentabilidade que afectam a indústria da construção:

- Materiais de Construção amigos do ambiente – Aproximadamente 50% de todos os materiais extraídos da crosta terrestre são transformados em materiais e produtos para a construção.

- Eficiência energética em edifícios - A construção, operação e consequente demolição de edifícios contabiliza aproximadamente 40% de toda a produção de energia e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases com efeito de estufa.
- Gestão de resíduos da construção e/ou demolição - Os resíduos da construção provêm das mais diversas fontes: produção dos materiais, perdas no seu armazenamento, transporte, construção, manutenção e demolição. É na fase de construção que se produz uma grande parte dos resíduos provenientes da construção.

A necessidade de promover práticas e técnicas eco-eficientes na construção, denominada por construção ecológica ou por construção “verde”, e de tornar mais eficiente a utilização e gestão dos recursos naturais, da produção de resíduos e da emissão de gases poluentes nocivos aos ecossistemas e à saúde humana, requisitos fundamentais do Desenvolvimento Sustentável.

Como tal e integrando os princípios da eco-eficiência com as condicionantes económicas, a equidade social e o legado cultural, está-se na presença das três dimensões da construção da sustentabilidade (fig. 3).

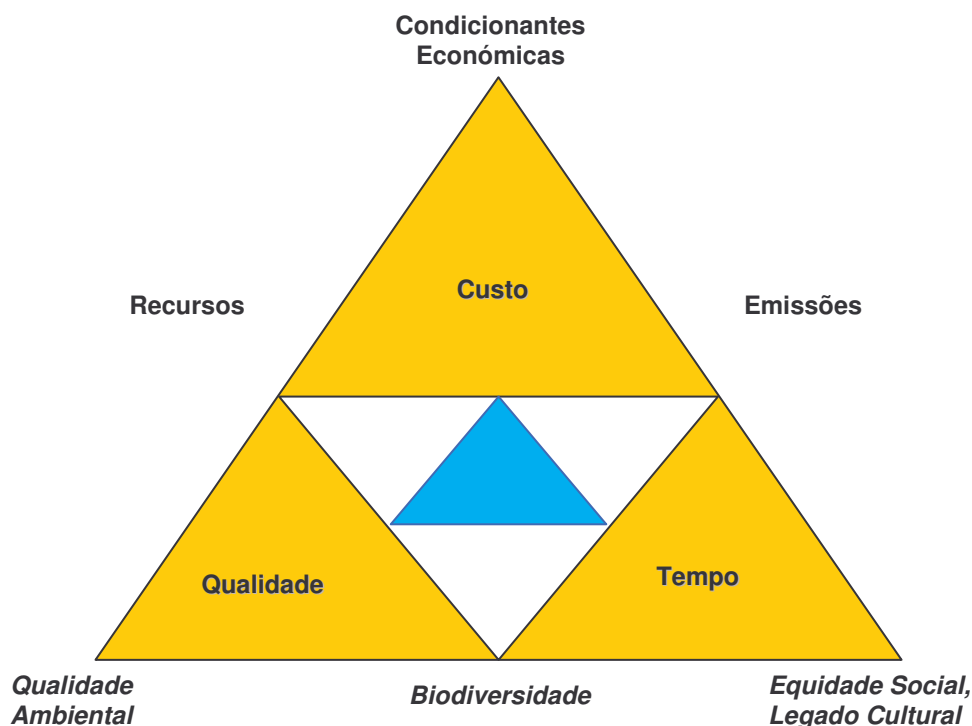


Figura 3. Construção Sustentável

2.2 Indicadores da Sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável é um processo evolutivo que se traduz na combinação de três dimensões de desenvolvimento, para benefício das gerações presentes e futuras que são:

- Crescimento Económico
- Melhoria da Qualidade do Ambiente
- Melhoria da Sociedade

As empresas de construção civil sentiam a necessidade de avaliar o seu desempenho com base nestes conceitos e não apenas nos indicadores económicos tais como o PIB (Produto Interno Bruto). Para tal tornou-se fundamental estabelecer indicadores e parâmetros de sustentabilidade.

Da mesma forma que na sustentabilidade em geral, também na sustentabilidade na construção apresenta-se em três dimensões: social, económica e ambiental.

Sustentabilidade Social

Este indicador baseia-se em parâmetros funcionais e sociais que se devem considerar na avaliação do desempenho de cada elemento construtivo (paredes, pavimentos, cobertura, etc) e de acordo com as suas exigências funcionais. Os parâmetros mais utilizados para avaliar este indicador são: isolamento sonoro e térmico, durabilidade e o comportamento ao fogo.

Sustentabilidade Económica

Existem vários custos associados ao ciclo de vida dos edifícios em relação aos materiais e processos construtivos: custo dos materiais (inclui desde a extracção das matérias primas, até à produção e o transporte), custo da construção, custo de utilização, custo da manutenção, custo de reabilitação, custo de demolição e custo para devolução ao meio natural, reciclagem ou reutilização.

Sustentabilidade Ambiental

Este indicador baseia-se na avaliação dos efeitos potenciais das tecnologias construtivas sobre o meio ambiente. Os parâmetros mais utilizados para medir o desempenho ambiental podem ser: potencial de aquecimento global, potencial de reciclagem, potencial de reutilização, toxicidade dos materiais utilizados e a quantidade de água utilizada na produção. Parâmetros mais virados para a edificação têm como exemplo: consumo de energia (kWh/m²piso) e as toneladas de emissão de CO₂.

Estes parâmetros devem abranger a totalidade do ciclo de vida e que vêm no fundo traduzir em termos numéricos os níveis limites e admissíveis a serem alcançados no sentido de determinar os parâmetros de avaliação do perfil sustentável de cada solução.

A definição dos parâmetros depende muito dos objectivos a que nos propomos estudar, das características das soluções construtivas e das exigências funcionais que se pretendem satisfazer e obviamente dos dados disponíveis.

2.3 Soluções construtivas não convencionais na sustentabilidade da construção

O material mais abundante utilizado em Portugal na execução da estrutura dos edifícios é o betão armado. Ao longo de décadas de utilização deste material foram sendo identificados os seus inconvenientes. Na fase de construção, os trabalhos em betão armado são responsáveis pela produção de grandes quantidades de desperdícios, sendo uma das maiores fontes de resíduos na construção convencional. Por outro lado, o betão final do seu ciclo de vida não apresenta grandes potencialidades de vir a ser reciclado.

A necessidade de se caminhar no sentido da construção sustentável engloba, como já foi referido, uma série de medidas. Algumas dessas medidas passam pela utilização de novos materiais e tecnologias de construção mais avançadas.

2.3.1 Sistema Construtivo com estruturas metálicas leves (Light Gauge Steel Framing) – LGSF

A necessidade de caminharmos para soluções mais sustentáveis passa por utilizar novos materiais e tecnologias de construção mais avançadas. Os sistemas construtivos – LGSF em estruturas metálicas leves é sinónimo disso e podem ser utilizadas em paredes exteriores e interiores, lajes e coberturas e em todos os tipos de construção.

Devido à característica do processo construtivo ser totalmente industrializado, pois grande parte dos elementos construtivos é produzida em fábrica e não em estaleiro, diminui assim o período de tempo necessário à construção, a mão-de-obra e o equipamento pesado. O conceito de construção a seco é aquele cujo processo construtivo não utiliza argamassa ou elementos moldados no local, que implicam o emprego da água, sendo amplamente utilizado em vários países e agregando diferentes tecnologias.

O sistema construtivo LGSF caracteriza-se por um elevado nível de industrialização e organização, onde seus componentes inter-relacionam-se integrando todo seu processo. A edificação emprega perfis leves de aço estrutural, de pequena espessura (fig 8). O conceito estrutural do sistema está em dividir as cargas por meio de uma modulação de perfis conformados em chapas finas de aço, dispostos paralelamente e equidistantes em 400 ou 600 mm, (figuras 4,5, 6 e 7), permitindo o uso de placas de gesso cartonado do lado interno e placas OSB do lado externo, minimizando desperdícios.



Figura 4. Montagem dos painéis/estruturas



Figura 5. Elevação das Estruturas



Figura 6. Aplicação da manta de subcobertura



Figura 7. Execução da cobertura

A estrutura é toda aparafusada com parafusos auto-roscantes galvanizados. As estruturas são galvanizadas apresentando um revestimento em zinco, que garante a protecção contra a corrosão. Nas aberturas de portas e janelas estão previstos reforços. O revestimento interior é executado com painéis de chapas de gesso cartonado, os quais recebem isolamento de lã de vidro ou de rocha.

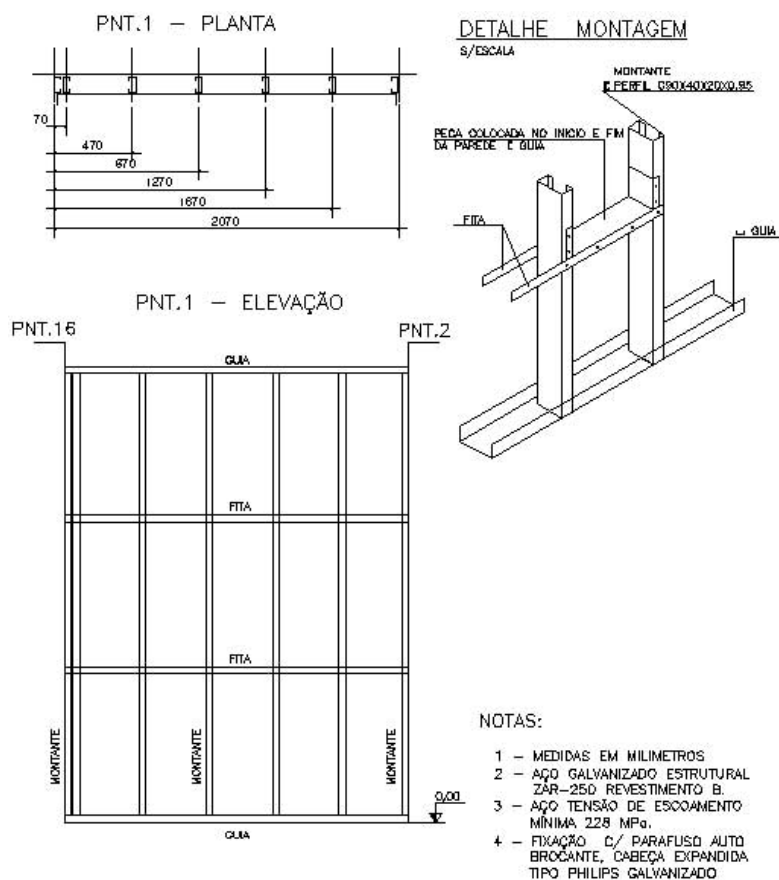


Figura 8. Detalhes de Execução - Perfis Utilizados

São apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos sistemas construtivos LGSF, relativamente ao sistema convencional (Mateus e Bragança, 2006):

VANTAGENS:

- Fundações aligeiradas, em razão da redução de peso e melhor distribuição dos esforços por meio das paredes leves.
- As instalações hidráulicas, eléctricas, ar condicionado, gás, aspiração, entre outras acopladas internamente às paredes, com amplas facilidades de acesso em caso de manutenção.
- Bom comportamento termo-acústico, devido ao uso de materiais nobres inerentes ao processo, como lã de vidro e elementos impermeabilizantes que permitem a troca de ar constante, mantendo adequados índices de temperatura e humidade.
- Prazos reduzidos e facilidades de montagem.
- Não temos desperdício de materiais.

DESVANTAGENS:

- Fraca Inércia Térmica (em climas com grandes amplitudes térmicas).
- Falta de mão-de-obra especializada.
- Custo em geral mais elevado.
- Não existem dados quanto ao seu comportamento longo prazo.

2.3.2 Sistema construtivo com Betão Celular Autoclavado (ACC – Autoclaved Cellular Concrete)

O betão celular autoclavado (ACC), foi descoberto em 1914, pelo sueco Johann Axel Erikson, tendo sido patenteado em 1924 (Bentil, 2001). O betão celular autoclavado (ACC) é um tipo de betão de peso leve geralmente pré-moldado em forma de bloco que é curado sob pressão elevada dentro de câmaras especiais chamada de autoclaves. Embora o betão celular autoclavado tenha sido usado com sucesso em grande parte do mundo desde o fim da segunda guerra mundial, em Portugal o material ainda é pouco difundido, tomando só agora destaque entre os construtores.

O ACC é produzido com material muito fino geralmente mistura de cal e areia silicosa. O que faz o ACC diferente do betão de agregados de leves é que o ACC contém milhões de células microscópicas que são geradas durante o processo industrial. Além disso, ACC difere de muitos outros betões porque pode ser perfurado, serrado, pregado, ou atarraxado usando ferramentas de carpintaria convencionais.

As matérias-primas básicas são cimento Portland, pedra calcária, pó de alumínio, água, e uma proporção grande de areia de silicosa. Depois as matérias-primas são misturadas formando uma pasta e de seguida colocadas em moldes, onde o pó de alumínio reage quimicamente para criar milhões de bolhas minúsculas de gás de hidrogénio. Estas células microscópicas, inconexas fazem o material expandir-se para quase duas vezes o seu volume – similar ao processo de fermentação da massa do pão – reduzindo o peso do betão. Depois de um tempo que varia de 30 minutos a 4 horas, o material na forma parecida a uma espuma fica duro o bastante para ser cortado nas formas desejadas e colocados numa autoclave para curar.

A autoclave usa vapor de alta-pressão à temperatura de cerca de 180°C para acelerar a hidratação do betão e propiciar uma segunda reacção química que lhe dá a sua resistência, rigidez, e estabilidade dimensional. O autoclavamento pode produzir em 8 a 14 horas forças iguais às forças obtidas num betão curado em meio húmido durante 28 dias a 21°C. Os produtos finais normalmente são embrulhados em plástico e transportados directamente para o local de construção.

O betão celular autoclavado tem um quarto do peso de um betão convencional de mesmo volume e é disponível em blocos para parede e painéis de telhado, padieiras, e pisos. Cada um destes produtos pode ser fabricado numa gama de tamanhos que dependem de aplicações específicas, permitindo assim máxima eficiência e flexibilidade na construção. O betão celular autoclavado pode ser usado para todos os tipos de estruturas que variam de residências unifamiliares a grandes complexos industriais.

O ACC é resistente ao frio e aos sulfatos, permitindo ser usado em todas as zonas climáticas e para uma gama extensiva de aplicações. Quando usado no exterior, o ACC normalmente é protegido por argamassa ou outras camadas protectoras. Também é um material inorgânico, fazendo dele, 100 % à prova de animais danosos (cupins, por exemplo) e resistente ao apodrecimento.

São apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos sistemas construtivos ACC, relativamente ao sistema convencional (Mateus e Bragança, 2006):

VANTAGENS:

- Menor peso de construção, o que potencia a utilização deste sistema em edifícios com grande altura o obras e ampliação.
- Maior isolamento térmico dos elementos da envolvente.
- Menor quantidade de trabalhos de escavação.
- Processo de construção mais industrializado (menor tempo de construção, menor dependência em relação ao clima, menor produção de resíduos).
- Maior resistência ao fogo.
- Utilização de meios de transporte e equipamentos mais ligeiros, nas operações de transporte, construção e desmantelamento.

DESVANTAGENS:

- Falta de mão-de-obra especializada para lida com esta tecnologia.
- Baixo número de fornecedores e os que existem encontram-se apenas no Porto e/ou em Lisboa.
- Menor resistência sísmica (na solução construtiva com paredes resistentes).
- Produção de poeiras durante fase de construção.

2.3.3 Sistema Construtivo com Aglomerado de cortiça expandida nos Edifícios

A capacidade de isolamento acústico de tecnologias construtivas não convencionais e do reduzido impacto ambiental como é o caso de paredes que utilizem na sua constituição materiais naturais como cortiça, fibra de coco ou aparas de madeira, não é muito utilizada no nosso País.

Tendo como objectivo verificar as potencialidades acústicas deste tipo de soluções construtivas, o estudo por comparação entre o isolamento acústico de algumas paredes não convencionais, com o de paredes típicas das construções portuguesas, tornou-se bastante vantajoso (fig.9).



Figura 9. Utilizações de aglomerados de cortiça nas paredes

Em virtude das características que apresentam, as placas de aglomerado de cortiça expandida têm sido empregues no isolamento térmico de coberturas, de paredes e de pavimentos de edifícios, de equipamentos e de instalações industriais (em particular de frio).

O enorme aumento da procura de isolantes térmicos, em particular registada desde o início da década de setenta, conduziu ao rápido desenvolvimento e à diversificação da oferta neste domínio.

Nos últimos anos o reconhecimento dos problemas de saúde e ambientais inerentes à produção e à utilização de certos produtos (fibras de amianto, CFC's utilizados como agentes de expansão de alguns plásticos celulares, libertação de produtos irritantes de espumas de ureia-formaldelido) tem renovado o interesse nas soluções de isolamento térmico realizadas com o aglomerado de cortiça expandida, em particular em países como a Áustria, a Suíça, a Alemanha, o Reino Unido e a Itália.

Principais Aplicações deste Isolamento:

- Isolamento de Paredes pelo Exterior (Fachadas)
- Isolamento de Paredes Duplas (Caixas de Ar)
- Isolamento de Coberturas Planas
- Isolamento Térmico de Telhados e Sótãos
- Isolamento Térmico de Pisos Térreos
- Isolamento na Transmissão de Ruídos de Repercussão
- Isolamento Anti-vibrático de Máquinas
- Isolamento Térmico de Câmaras Frigoríficas

No domínio dos edifícios, o Aglomerado de Cortiça Expandida encontra a sua aplicação "nobre" no isolamento térmico de coberturas em terraço, desempenhando as funções de isolante térmico e de suporte do sistema de impermeabilização.

A estabilidade dimensional, a resistência a temperaturas elevadas (necessária à colagem quer das placas à base de apoio quer das membranas de impermeabilização às placas) e as características mecânicas (compressão e coesão) que caracterizam o Aglomerado de Cortiça Expandida representam vantagens indiscutíveis.

Aquelas propriedades e a compatibilidade com os materiais de impermeabilização tradicionais ou inovadores permitem a realização de variadas soluções com um bom desempenho e duráveis.

Em coberturas em que a minimização do peso constitui uma imposição (geralmente coberturas com estrutura resistente metálica, exigindo a aplicação de membranas de impermeabilização auto protegidas, ainda mais se evidenciam

aquelas vantagens comparativamente com outros isolantes térmicos alternativos.

Nos terraços acessíveis poder-se-à, ainda, tirar partido das características favoráveis de isolamento acústico a sons de percussão (circulação de pessoas, queda de objectos) que o aglomerado de cortiça expandida apresenta, desde que se satisfaçam algumas exigências construtivas específicas.

As boas características acústicas do Aglomerado de Cortiça Expandida são também aproveitadas em soluções que recorrem a tectos falsos de placas daquele produto. Nas coberturas inclinadas as placas Aglomerado de Cortiça podem aplicar-se sobre lajes de esteira inclinadas ou horizontais, eventualmente protegidas da ocorrência accidental de infiltrações de água da chuva causadas por deficiências registadas no revestimento exterior da cobertura (fig. 10).

No isolamento térmico de paredes duplas, as placas Aglomerado de Cortiça Expandida têm sido colocadas no espaço intermédio da parede, preenchendo-o total ou parcialmente. O preenchimento total, mais fácil de executar em obra, apresenta o inconveniente de colocar o aglomerado de cortiça expandida em risco de entrar em contacto com água que accidentalmente se infiltre através do pano exterior da parede (ou que nele condense).



Figura 10. Pormenor de Execução em coberturas Inclinadas

Todavia, a melhor solução do ponto de vista técnico-económico consiste na fixação do isolante à face exterior do pano interior, entre as placas de Aglomerado de Cortiça Expandida e o pano exterior, mantendo-se deste modo um espaço de ar drenado e ventilado para o exterior.

VANTAGENS:

- Boa durabilidade, resistente à compressão e de grande estabilidade dimensional
- É ao mesmo tempo isolamento térmico e acústico o que não acontece em alguns isolamentos mais usados
- Fácil aplicação das placas de cortiça
- Produto natural e 100% reciclável

DESVANTAGENS:

- Placas não têm encaixe o que poderá haver pontes térmicas e acústicas
- Placas pesadas comparativamente com outros materiais de isolamento
- Mau comportamento ao fogo por ser material combustível

2.4 Processos Construtivos - Enquadramento nacional

A sustentabilidade de soluções construtivas é um dos parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade global dos edifícios.

Em Portugal, apesar de existirem realidades climáticas diferentes, as soluções construtivas utilizadas nos edifícios são praticamente iguais. A construção actual, a solução de referência, é baseada numa fórmula que se encontra bastante enraizada e que é utilizada em todo o País, independentemente das diferenças existentes ao nível do clima, localização geográfica, matérias-primas e estilo de vida dos seus ocupantes.

Esta fórmula baseia-se numa solução construtiva em que os pilares são de betão, as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo, as paredes interiores em alvenaria simples e as lajes constituídas por vigotas pré-esforçadas.

A utilização sistemática deste processo, baseado em soluções construtivas desenvolvidas à mais de 50 anos e que pouco ou nada se têm desenvolvido, deve-se a vários factores, destacando-se:

Factores Económicos - existe um grande número de empreiteiros que dominam as soluções convencionais, tornando estas soluções mais competitivas ao nível do custo de construção;

Baixa qualificação dos operários da construção – a pouca atracção que os trabalhos realizados na construção civil exercem sobre os jovens, com uma imagem associada a trabalhadores pouco qualificados é um entrave à aplicação de soluções tecnologicamente mais evoluídas que requerem trabalhadores mais qualificados;

Falta de formação dos técnicos de construção – a formação dos técnicos da construção está sobretudo orientada para as soluções construtivas convencionais, pelo que não se dominam as características técnico-funcionais de outras soluções.

Numa forma sucinta iremos enumerar os aspectos mais relevantes bem como as capacidades de cada uma delas em ser uma construção sustentável.

2.4.1 Betão

O betão é o material de construção mais usado no nosso País e a preocupação de projectar com este material tendo em atenção a durabilidade tornou-se neste momento em dos requisitos mais exigentes.

É possível aumentar o desempenho em termos de sustentabilidade se os materiais que se produzem e utilizam e as estruturas que se projectam e se constroem, apresentarem um desempenho satisfatório na sua vida útil, e uma das formas contribuir para a sua sustentabilidade consiste no aumento da durabilidade das estruturas de betão armado, uma vez que estruturas mais dáveis conduzem a uma redução de utilização de recursos para a reparação e a reabilitação.

O desenvolvimento sustentável na construção utilizando o betão é sempre possível pondo em prática os seguintes aspectos:

- Minimizar o uso de cimento de Portland pois existem subprodutos pozolânicos e cimentícios que podem substituir parcialmente o cimento Portland.
- Maximizar a utilização de agregados reciclados no fabrico do betão, provenientes de escombros de alvenaria e de betão.
- Minimizar o uso de água potável no fabrico do betão utilizando águas residuais industriais recicladas.
- Melhorar a durabilidade das estruturas de betão. Um dos métodos mais estudados para protecção adicional do betão armado e conseguirmos a tão desejável durabilidade, é o CPF - cofragem de permeabilidade controlada – que consiste numa cofragem habitual de madeira, ou metálica, na qual se aplica um dreno/filtro antes da betonagem e cujo efeito consiste em reter partículas de cimento mas permitindo a drenagem da água e ar a mais, formando-se à superfície do betão, uma verdadeira “pele” com vários milímetros de espessura.

2.4.2 Aço

O aço é normalmente identificado como um “amigo do ambiente” devido essencialmente ao seu potencial de reciclagem. No entanto, a percentagem de material reciclado utilizado na produção do aço difere nos dois processos de produção – a partir de matérias-primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno ou a partir de sucata em forno eléctrico de arco. A produção em alto-forno utiliza entre 25% a 35% de aço reciclado (processo ainda mais utilizado) enquanto que na produção em forno eléctrico de arco utiliza cerca de 95 % de aço reciclado.

Contudo não é apenas como material que o aço contribui para os objectivos da construção sustentável também as estruturas metálicas têm características naturais que contribuem para os mesmos objectivos, pois analisando as várias fases do ciclo de vida de uma estrutura metálica facilmente se identificam vantagens deste tipo de estruturas.

De uma forma geral as estruturas metálicas implicam uma pré-fabricação conduzindo a um processo de construção mais eficiente, ou seja, a uma maior rapidez de construção e a uma construção mais limpa sem desperdícios de materiais. Simultaneamente sendo uma estrutura mais leve, necessita de fundações mais reduzidas permitindo a preservação do solo natural e a uma redução de movimentação de terras.

As estruturas metálicas permitem a construção de superfícies de grandes vãos livres, pilares mais esbeltos e fachadas mais leves, havendo uma maior liberdade da imaginação na concepção da obra. Permitem também a execução de elementos estruturais de menor secção e por conseguinte, de menor massa consumindo menor quantidade de matéria-prima. Por outro lado a existência de grandes superfícies envidraçadas normalmente associadas a este tipo de construção, permite a realização de fachadas e coberturas mais transparentes, conduzindo a uma maior gestão de luz natural e ao favorecimento da utilização da energia solar.

Na fase final da vida útil das estruturas metálicas é possível proceder-se ao seu desmantelamento e efectuar a sua reconstrução noutro local. Se o destino final for mesmo a demolição nesse caso proceder-se-à à reciclagem do aço. O aço pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder qualquer uma das qualidades,

contribuindo para a minimização do consumo dos recursos naturais e para a maximização da reutilização desses mesmos recursos.

2.4.3 Madeira

A madeira é um dos materiais de construção mais usado em todo o mundo, seja em utilizações mais tradicionais ou em manifestações de arquitectura contemporânea. Este material é ecológico, barato e fácil de utilizar conquistando cada vez mais adeptos.

A madeira é um produto de origem natural cuja composição apresenta em termos médios, 60 % de celulose (que constitui a estrutura de sustentação das paredes celulares) e 28% de lenhina (o material aglomerado que liga as células umas às outras). Estes dois componentes são os responsáveis por grande parte das propriedades da madeira, tais como higroscopicidade, resistência, durabilidade, etc.

As casas de madeira podem construir-se de forma rápida e eficaz, não apresentando custos em geral, superiores aos de outros materiais. Estruturalmente resistente este material alia características de isolamento térmico e acústica à economia da energia, sendo um regulador natural que pode reduzir a quantidade de energia necessária.

Outra das vantagens é o facto de ser um produto reciclável que se enquadra facilmente no ambiente

Além disso o impacto ambiental dos materiais de construção torna-se cada vez mais um critério de escolha, a par do preço e da qualidade. Ora a madeira contribui para reduzir o efeito de estufa porque fixa o dióxido de carbono (CO₂). Durante o seu processo de crescimento, as árvores absorvem o dióxido de carbono da atmosfera e libertam o oxigénio. Usando a madeira armazena-se o dióxido de carbono absorvido durante o tempo de vida da construção, evitando que se liberte para a atmosfera e agrave o aquecimento global.

Quanto às questões de durabilidade física da madeira, bastará que os cuidados a ter com o seu corte, secagem e manutenção dos elementos seja o correcto.

3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A análise do ciclo de vida (ACV) conhecida internacionalmente por LCA (Life Cycle Assessment) é uma técnica de avaliação do impacto ambiental associado aos materiais de construção durante todo o seu ciclo de vida.

Foi utilizado primeiramente nos EUA em 1990. A designação histórica para estes estudos de ciclo de vida ambiental, utilizados nos EUA desde 1970, era "Resource and Environmental Profile Analysis"(REPA).[Hunt e Franklin, 1996]

Após um longo período de baixo interesse público na ACV, em 1984 o Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais (EMPA) publicou um importante relatório com base no estudo "Balanço Ecológico de Materiais de Embalagem" (OFEFP, 1984) iniciado pelo governo, que tinha como objectivo estabelecer uma base de dados para os materiais de embalagem mais importantes: alumínio, vidro, plásticos, papel e cartão, chapas de lata. O estudo também introduziu um método para normalizar e agregar emissões para o ar e para a água utilizando as normas (legislação) para aquelas emissões e agregando-as, respectivamente nos chamados "volume crítico de ar" e "volume crítico de água". De alguma forma, esta filosofia de avaliar os impactes ambientais foi mais tarde desenvolvida e refinada por Ahbe, Braunschweig e Müller-Wenk no relatório Metodologia dos Ecobalancos (Methodologie des Ecobilans sur la base de l'optimisation écologique), no qual é proposto o cálculo de ecopontos [Ahbe et al., 1991].

Para responder a uma necessidade crescente na orientação de ACV particularmente na Europa onde a ACV era mais utilizada, as organizações Europeia e Norte Americana da SETAC planearam e conduziram em 1993 no nosso País, em Sesimbra, o "workshop - Code of Practice" [SETAC, 1993]. Este documento pode ser visto como o "mais alto denominador comum" entre as posições Americana e Europeia na metodologia ACV [Gabathuler, 1997].

Em 1992 foi formada a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida (SPOLD), com a missão de juntar recursos, para acelerar o desenvolvimento da metodologia ACV como uma abordagem de gestão aceite para ajudar na tomada de decisão.

A Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou em 1992 um comité técnico (TC207/SC 5) tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo ACV. Até ao momento foram publicadas as seguintes normas relacionadas com ACV:

- ISO 14040: 1997 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- ISO 14041: 1998 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis
- ISO 14042: 2000 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment
- ISO 14043: 2000 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation

O conceito de ciclo de vida tem-se estendido para além de um simples método para comparar produtos, sendo actualmente visto como uma parte essencial para conseguir objectivos mais abrangentes, tais como sustentabilidade.

A interligação dos sistemas de produto, que não se limitam por fronteiras geográficas, requer que se continue a desenvolver a metodologia ACV a um nível internacional.

Em Portugal, ao contrário da maioria dos países da UE, não existe uma entidade pública ou privada que tenha como objectivo principal desenvolver aspectos relacionados com a metodologia ACV.

3.1 Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida

A Análise de Ciclo de Vida consiste na compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactes ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. A ACV é muitas vezes utilizada para comparar soluções construtivas que cumprindo a mesma função conduzem a uma optimização do comportamento ambiental das soluções.

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das actividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, passando pela utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto.

A Figura 11 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas [USEPA, 2001].

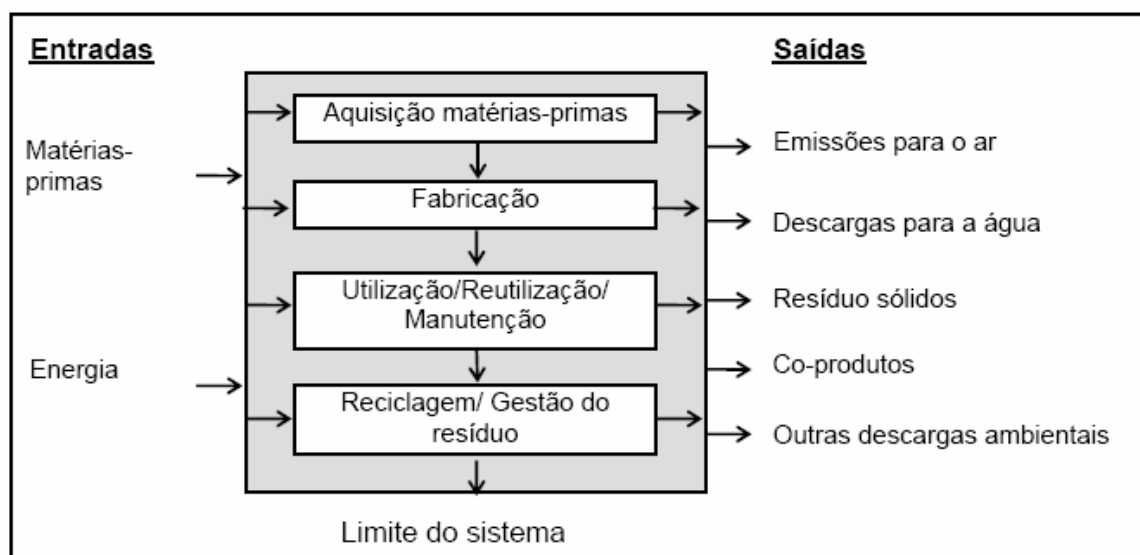


Figura 11. Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001)

Num estudo ACV de um produto ou serviço, todas as extracções de recursos e emissões para o ambiente são determinadas, quando possível, numa forma quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida, desde que "nasce" até que "morre" - "from cradle to grave", sendo com base nestes dados que são avaliados os potenciais impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana.

A metodologia técnica de ACV é composta por quatro componentes: definição de objectivos e âmbito; análise de inventário; análise do impacto; e, interpretação dos resultados, como se ilustra na Figura 12 [ISO 14040: 1997].

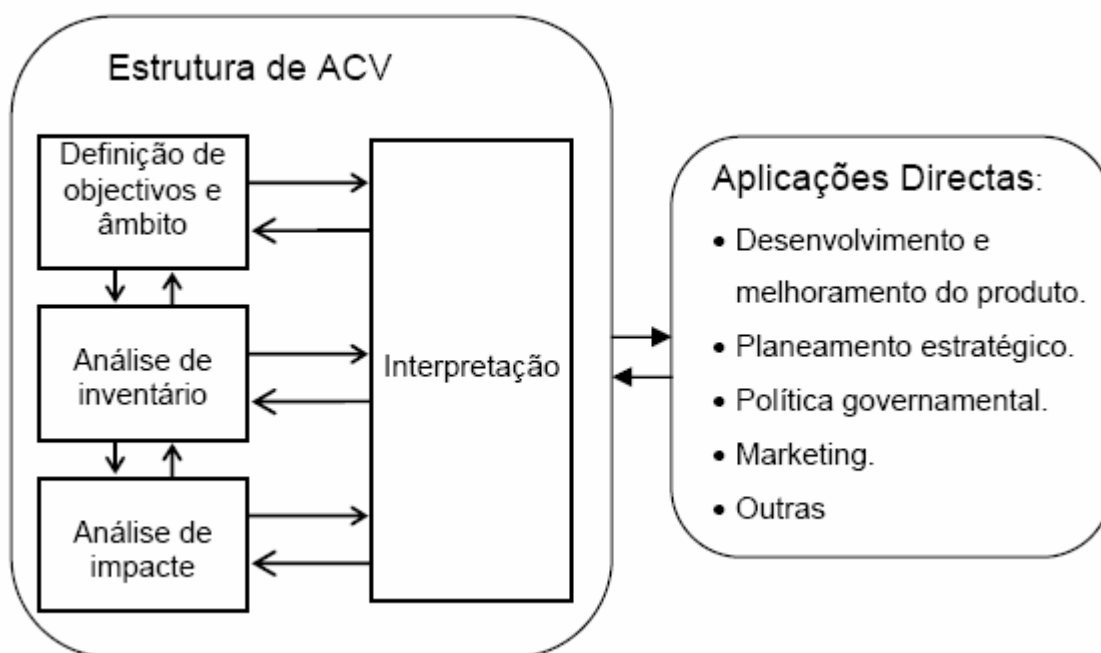


Figura 12. Fases de uma Análise de Ciclo de Vida [ISO 14040:1997]

- Definição de Objectivos e Âmbito – Define e descreve o produto. Estabelece o contexto no qual a avaliação é para ser feita e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação.
- Análise de Inventário – Recolha de dados considerados importantes e quantifica a energia, água e materiais utilizados e descargas ambientais (p.ex: emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos).
- Análise de Impacte – Analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário.
- Interpretação – Avalia os resultados da análise de inventário e análise de impacto para seleccionar o produto preferido com uma compreensão clara das incertezas e suposições utilizadas para gerar os resultados.

Os dados de um estudo ACV em conjunto com outros factores, por exemplo, custos e performance, podem ajudar os profissionais na tomada de decisão no que respeita à selecção de soluções construtivas que resultem num menor impacto para o ambiente.

A metodologia ACV é a única que permite identificar a transferência de impactos ambientais de um meio para outro (p.ex.: a eliminação de emissões atmosféricas pode ser feita à custa do aumento das emissões de efluentes líquidos) e/ou de uma etapa do ciclo de vida para outra (p. ex.: da fase de aquisição de matérias-primas para a fase de utilização).

Por exemplo, quando seleccionamos entre dois produtos concorrentes pode parecer que a “opção A” é melhor para o ambiente porque necessita de menos matérias-primas, na fase de fabricação, que a “opção B”. Porém, porque na elaboração de um estudo ACV são considerados todos as etapas do ciclo de vida, os resultados finais podem mostrar que é a “opção A” que mais impacto causa no ambiente, dada a necessidade que tem de um maior consumo de electricidade, na fase de utilização, que a “opção B”. Sem a elaboração de um estudo ACV estes factos não serão detectados.

Na elaboração de um estudo ACV, os avaliadores podem:

- Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto ou solução.
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma acção planeada.
- Quantificar as emissões ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada etapa do ciclo de vida.
- Identificar as significantes trocas dos impactos ambientais entre etapas do ciclo de vida e o meio ambiental.
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais.
- Comparar os impactos ecológicos entre dois ou mais produtos/processos rivais para uma mesma função.

3.2 Ferramentas de Avaliação do ciclo de Vida – Sistemas de Avaliação Ambiental

Devido à importância do sector dos edifícios é ao nível de avaliação da sustentabilidade dos mesmos que tem incidido a maior parte da investigação e desenvolvimento de vários programas de computador.

Os diferentes métodos de avaliação encontram-se orientados para diferentes escalas de análise: material de construção, solução construtiva, elemento de construção, etc. Analisando os objectivos das diferentes ferramentas existentes podemos dividi-las em três grandes grupos:

- ***Ferramentas de suporte à concepção de Edifícios Sustentáveis (Performance Based Design);***
- ***Sistemas de análise do ciclo de vida dos produtos, materiais e soluções construtivas;***
- ***Sistemas e ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável***

As **Ferramentas de suporte à concepção de Edifícios Sustentáveis** são aplicadas às fases do anteprojecto e projecto dos edifícios, apoiando o dono de obra na definição do desempenho pretendido para o edifício, ou seja, descrevem-se as propriedades pretendidas para a solução final de projecto através de uma hierarquia de requisitos preestabelecidos. A ferramenta EcoProp, desenvolvida na Finlândia é um exemplo disso.

Os **sistemas de análise do ciclo de vida** aplicam-se às fases do projecto e estão orientados mais para avaliação do impacto ambiental dos materiais e produtos, não só para a indústria da construção mas para outras indústrias. Actualmente os sistemas só incluem o desempenho económico na sua avaliação, sendo este um factor importante no sucesso de qualquer edifício que se pretenda sustentável. Estes sistemas de avaliação fornecem-nos todos os impactos ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida do produto, que vai desde a sua extracção até sua devolução ao meio ambiente. Exemplos deste tipo de sistemas são: o Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES), desenvolvido nos Estados Unidos e o programa ATHENA, desenvolvido no Canadá.

As **ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável** têm como objectivo garantir a sustentabilidade dos edifícios durante a totalidade do seu ciclo de vida (projecto, construção, operação, manutenção, demolição), tornando possível uma melhor integração entre os parâmetros ambientais, sociais e económicos. Estas ferramentas podem ser utilizadas no suporte à concepção de edifícios sustentáveis, pois eles traduzem a sustentabilidade em determinados objectivos por requisito na avaliação do desempenho global. Apesar de existirem diferentes abordagens em diferentes sistemas de avaliação, existem certos pontos em comum nestas abordagens. Em geral, estes sistemas e ferramentas analisam de uma maneira ou de outra, as mesmas categorias de projecto e desempenho: local, água, energia e qualidade do ambiente interior.

Existem no entanto grandes entraves para a internacionalização destes sistemas pois são baseados em regulamentos e legislação local e o peso de cada parâmetro e indicador na avaliação são pré-definidos de acordo com as realidades sócio-culturais, ambientais e económica no local. Deste modo, a maior parte deles só pode ter reflexo às escalas local e regional.

Existem actualmente alguns tipos de sistemas de avaliação: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), desenvolvido nos E.U.A.; Comprehensive Assessment System for Building Efficiency (CASBEE), desenvolvido pelo trabalho de equipas pertencentes a 20 países.

3.2.1 BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD (BREEAM) – 1990

O primeiro e mais conhecido dos métodos de avaliação ambiental de edifícios é o BREEAM, lançado no Reino Unido em 1990 [BALDWIN et al., 1990] por pesquisadores do BRE e do sector privado, em parceria com a indústria.

O BREEAM fornece um processo formal de avaliação ambiental baseado numa auditoria externa. O edifício é avaliado por avaliadores independentes que, por sua vez, são responsáveis por especificar os critérios e métodos de avaliação e pela garantia da qualidade do processo de avaliação utilizado.

Dentro do objectivo geral de fornecer orientação sobre maneiras de minimizar os efeitos adversos dos edifícios nos ambientes local e global e, ao mesmo tempo, promover um ambiente interno saudável e confortável, os objectivos específicos deste método são (BALDWIN et al., 1998):

- Distinguir os edifícios de menor impacto ambiental no mercado;
- Encorajar práticas ambientais de excelência no projecto, gestão e manutenção;
- Definir critérios e padrões indo além daqueles exigidos por lei, normas e regulamentações;
- Conscientizar proprietários, projectistas e trabalhadores quanto aos benefícios de edifícios com menor impacto ambiental.

Os créditos são ponderados para obtenção de um índice de desempenho ambiental (EPI), que habilita à certificação em uma das classes de desempenho e permite comparação relativa entre os edifícios certificados pelo sistema.

O sistema é actualizado regularmente (a cada 3-5 anos) para incluir os dos avanços registados, a experiência acumulada, alterações nas prioridades de regulamentações e do mercado, e para garantir que continue representando práticas de excelência no momento da avaliação.

A primeira edição ocorreu em 1993 e actualmente estamos na sua terceira versão (BREEAM 98). O sistema conta com significativa penetração no mercado, é uma componente importante de política ambiental em diversos negócios e foi aceito como representação de prática de excelência no Reino Unido.

Estima-se hoje que entre 30% e 40% dos novos edifícios de escritórios do Reino Unido sejam submetidos a esta avaliação anualmente [HOWARD, 2001]. O BREEAM é também a metodologia de maior aceitação internacional. Versões deste sistema foram adaptadas às condições do Canadá e Hong Kong, com o objectivo de priorizar aspectos de relevância regional na avaliação.

O processo de avaliação utilizando o BREEAM 98 *for offices* é composto pelos três blocos de critérios ilustrados. A versão 98 mesclou os dois sistemas que - até a versão 93 - avaliavam separadamente edifícios de escritórios novos e existentes.

Os créditos ambientais estão distribuídos em nove categorias de avaliação (tabela 1). Dentro de cada categoria há requisitos para a obtenção de créditos que reflectem as opções disponíveis para projectistas e gestores de edifícios. A quantidade de créditos em cada categoria não reflecte a importância relativa entre elas, que é dada por factores de ponderação que passaram a ser atribuídos a cada categoria, com a vigência do BREEAM 98.

Tabela 1. Estrutura de avaliação do BREEAM 98 (BALDWIN *et al.*, 1998)

Categorias (% total de pontos)	Pontos (máx 1062 pts)
Gestão (14,1%) Aspectos globais de política e procedimentos ambientais	150 pts
Saúde/conforto (14,1%) Ambiente interno e externo ao edifício	150 pts
Uso de energia (19,6%) Energia operacional e emissão de CO ₂ ⁵	208 pts
Transporte (11,3%) Localização do edifício e emissão de CO ₂ relacionada a transporte	120 pts
Uso de água (4,5%) Consumo e vazamentos	48 pts
Uso de materiais (9,8%) Implicações ambientais da seleção de materiais	104 pts
Uso do solo (3%) Direcionamento de crescimento urbano (evitando <i>greenfields</i> e encorajando a recuperação de <i>brownfields</i> ⁶ e uso de vazios urbanos)	32 pts
Ecologia local (9%) Valor ecológico do sítio	96 pts
Poluição (14,5%) Poluição de água e ar, excluindo CO ₂ (<i>tratado no item Energia</i>)	154 pts

Uma das principais modificações da versão 98 em relação às versões anteriores do BREEAM foi a introdução de *factores de ponderação* (fig13), para as categorias de créditos ambientais para chegar a um *índice de desempenho ambiental (EPI)*, com valor entre zero e 10 De acordo com o EPI obtido, são atribuídos quatro níveis de certificação.

A Tabela 2 mostra a classificação provável do edifício, a partir do número de pontos obtidos numa uma lista de verificação (*checklist*) simplificada.

O número de critérios em cada uma destas categorias implicava um certo grau de ponderação, mas até ao BREEAM 98 não havia nenhuma tentativa de ponderar os aspectos numa escala comum para obter uma nota para o edifício.

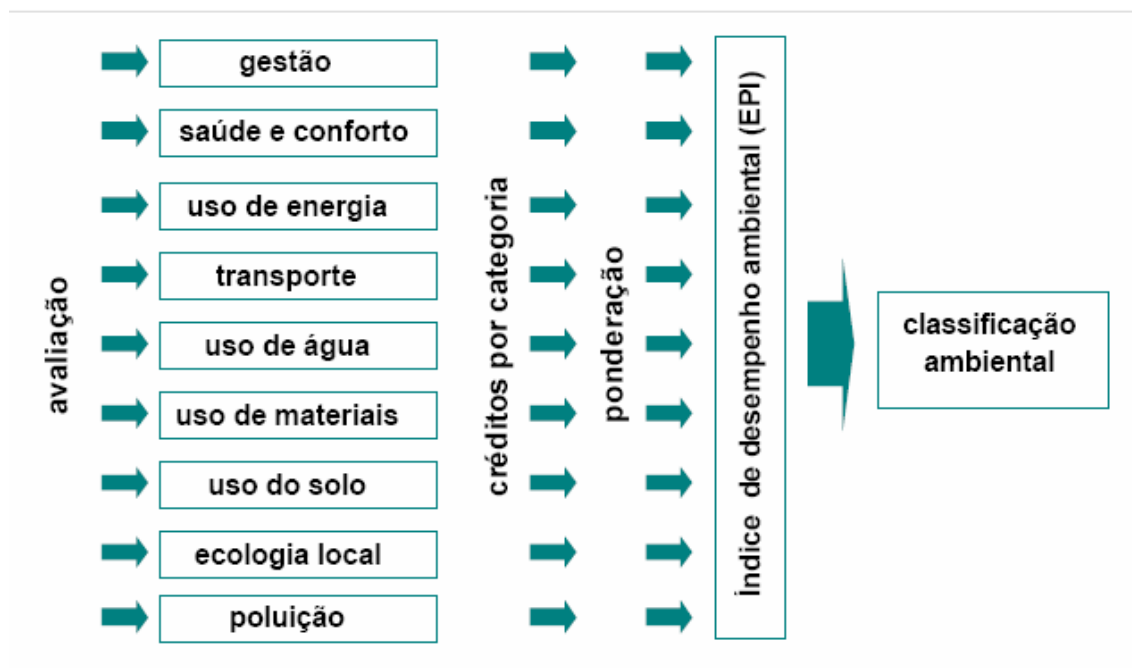


Figura 13. Esquema da obtenção do Índice de Desempenho Ambiental (EPI), utilizado pelo BREEAM (BALDWIN et al., 1998)

Tabela 2. Classificação provável no BREEAM, conforme pontos obtidos na lista de verificação simplificada

Nível de classificação	Projeto e execução	Gestão e Operação
Aprovado	≥ 200 pts (25%)	≥ 160 pts (21,1%)
Bom	≥ 300 pts (37,5%)	≥ 280 pts (36,9%)
Muito bom	≥ 380 pts (47,5%)	≥ 400 pts (52,8%)
Excelente	≥ 490 pts (61,3%)	≥ 520 pts (68,6%)

3.2.2 COMPREHENSIVE ASSESSMENT SYSTEM FOR BUILDING EFFICIENCY (CASBEE) – 2002

A mais recente inovação no campo das avaliações ambientais de edifícios é o *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – CASBEE* [JSBC, 2002], apresentada publicamente pelo *Japan Sustainability Building Consortium* - durante a SB'02 em Oslo.

Na verdade, o CASBEE não é uma, mas quatro ferramentas de avaliação, cada uma delas destinada a pessoas bem definidas, que podem avaliar o projecto ou edifício existente em etapas específicas de seu ciclo de vida (Tabela

3). Este conjunto de ferramentas destina-se à avaliação de edifícios escolares, residenciais e para escritórios.

Tabela 3. Ferramentas de avaliação que compõem o CASBEE

	Ferramenta	Usuários	Objetivos/características
Edifícios novos	Ferramenta de avaliação pré-projeto	proprietários planejadores projetistas	Identificação do contexto básico do projeto, com ênfase em seleção de área e impactos básicos do projeto.
	Ferramenta de projeto para o ambiente (DfE)	projetistas construtores	Teste simples de auto-avaliação para auxiliar a melhorar a eficiência ambiental do edifício (BEE) durante o processo de projeto
Edifícios existentes	Ferramenta de certificação ambiental	proprietários, projetistas, construtores, agentes imobiliários	Para classificar edifícios concluídos, segundo sua eficiência ambiental Determinar o valor básico de mercado do edifício certificado
	Ferramenta de avaliação pós-projeto (operação e renovação sustentáveis)	Proprietários projetistas operadores/gestores	Prover informações sobre como melhorar a BEE durante a etapa de operação

A estrutura do CASBEE caracteriza-se por dois pontos focais: a definição de limites do sistema analisado (o edifício) e todos os impactos positivos e negativos gerados ao longo de seu ciclo de vida.

O CASBEE propõe aplicar o conceito de *sistemas fechados* (um espaço hipotético encerrado pelos limites do terreno) para determinar a *capacidade ambiental* relacionada ao edifício a ser avaliado. Este limite hipotético define e distingue claramente o espaço *dentro* dos limites do terreno (ambiente como propriedade privada), e o espaço *fora* dos limites do terreno (ambiente como propriedade pública).

Em relação a estes dois tipos de espaços, o CASBEE define dois factores (fig 14):

- **L (cargas ambientais)** - impactos negativos que se estendem para *fora* do espaço hipotético (i.e.: para o ambiente público).
- **Q (qualidade ambiental)** - qualidade e desempenho ambiental do edifício(*dentro* do espaço hipotético).

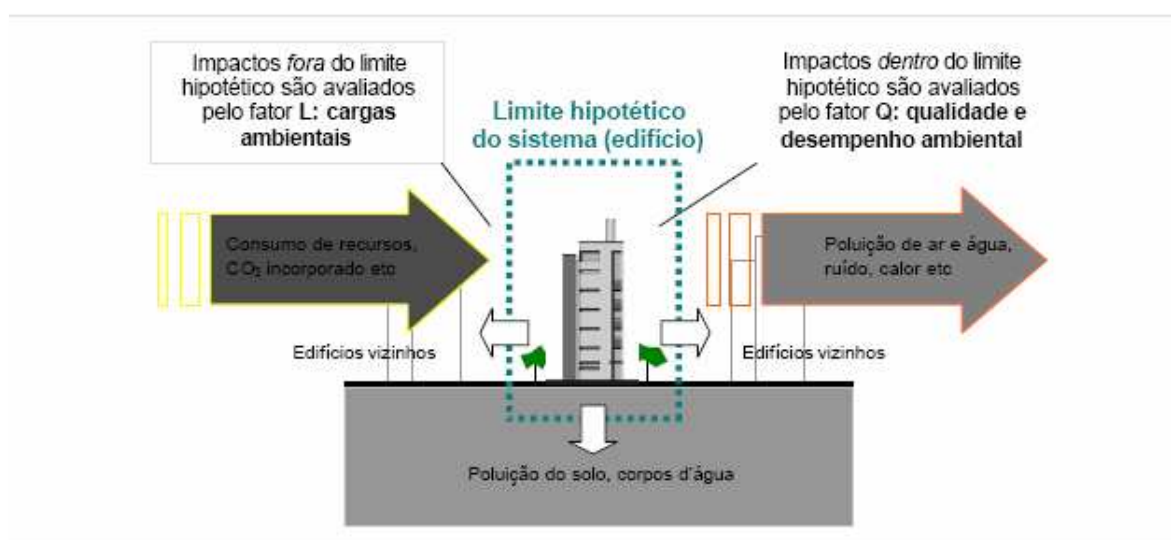


Figura 14. Estrutura CASBEE.

O conceito original de eco-eficiência expressa o valor do produto ou serviço às cargas ambientais a ele associadas (tabela 14). Para integrar a avaliação destes dois factores, associados aos espaços dentro e fora do limite do sistema (edifício), o CASBEE modifica o conceito e cria um indicador de eficiência ambiental do edifício (BEE). Quanto maior o quociente do BEE (qualidade/cargas, onde *qualidade* enfatiza a qualidade do ambiente interno, e as *cargas*, o uso de energia), maior a sustentabilidade ambiental do edifício.

Tabela 4. Modificação proposta pelo CASBEE para aplicação do conceito de *eco eficiência* em avaliações ambientais de edifícios [JSBC, 2002].

Definição de eco-eficiência	
Definição original (WBCSD ²⁶)	$\frac{\text{Valor do produto ou serviço}}{\text{Unidade de carga ambiental}}$
Definição modelada	$\frac{\text{Saídas benéficas}}{\text{Entradas} + \text{Saídas não-benéficas}}$
Definição usada no CASBEE	$\frac{\text{Qualidade e desempenho ambiental do edifício}}{\text{Cargas ambientais causadas pelo edifício}}$

A inovação do CASBEE encontra-se na implementação de avaliações ambientais com base no conceito de eficiência ambiental do edifício (tabela 5).

Tabela 5. Estrutura de avaliação do CASBEE

Aspectos avaliados	Categorias para derivar o BEE Categoria (peso)	Pts	BEE
Consumo de energia Uso de recursos críticos Ambiente local Ambiente interno	Qualidade ambiental		
	Q1: Ambiente interno (0,5)		
	Ruído e acústica	15	Numerador BEE
	Conforto térmico	15	
	Iluminação	20	
	Qualidade do ar	15	
	Q2: Qualidade dos serviços (0,35)		
	Serviceability (funcionalidade, aconchego)	10	
	Durabilidade	10	
	Flexibilidade e adaptabilidade	15	
	Q3: Ambiente externo (ao edifício) no terreno (0,15)		
	Manutenção e criação de ecossistemas	5	Denominador BEE
	Paisagem	5	
	Características locais e culturais	5	
	Cargas ambientais		
	L1: Energia (0,5)		
	Carga térmica do edifício	5	
	Uso de energia natural	10	
	Eficiência dos sistemas prediais	5	
	Operação eficiente	10	
	L2: Recursos e materiais (0,3)		
	Água	10	
	Eco-materiais	30	
	L3: Ambiente fora do terreno (0,2)		
	Poluição do ar	5	
	Ruído e odores	10	
	Acesso a ventilação	5	
	Acesso a iluminação	5	
	Efeito de ilhas de calor	5	
	Carga em infraestrutura local	5	
80 subitens	18 categorias	220	

Nas três etapas principais de projecto (estudo preliminar, anteprojecto e projecto de execução), duas fichas são preenchidas (fig 15): o *formulário de pontuação* e o *formulário de resultados*.

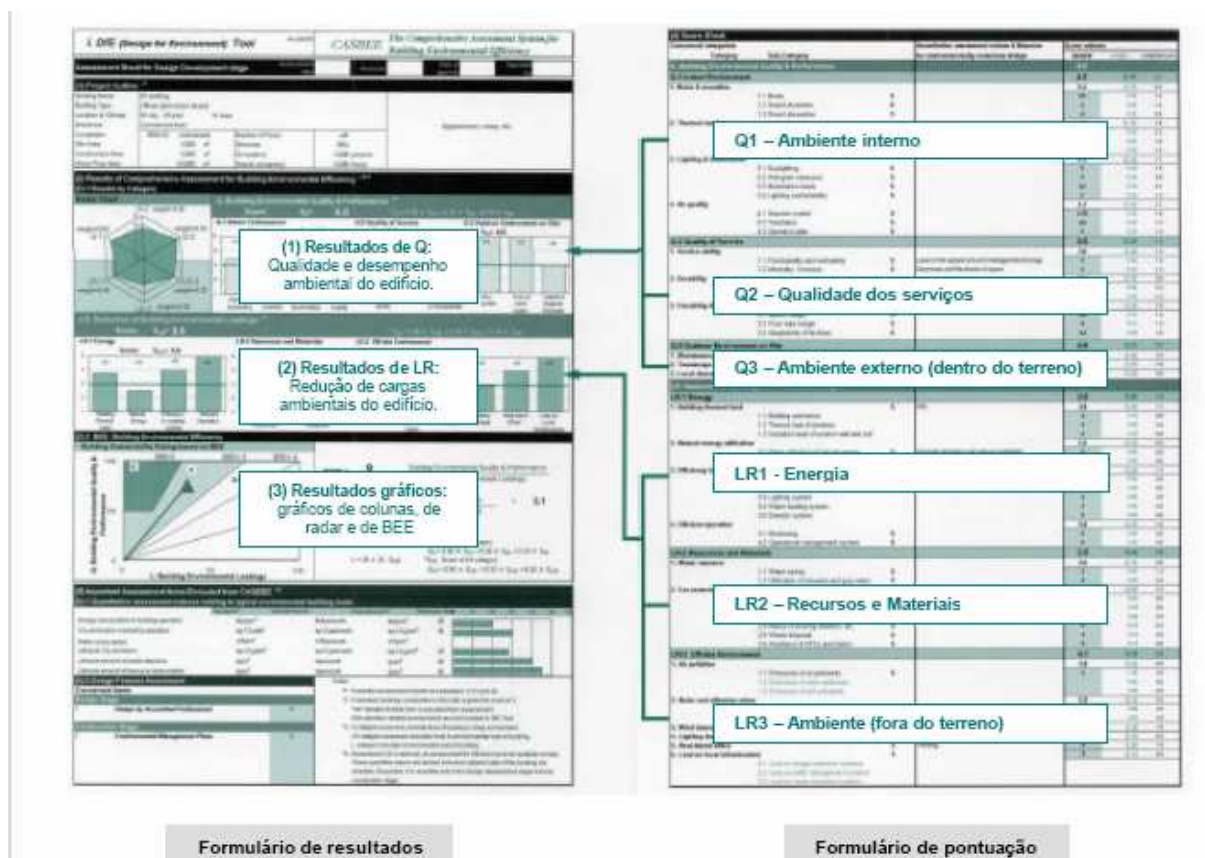


Figura 15. Formulários originais da avaliação com o de CASBEE [JSBC, 2002]

Para cada item, são atribuídos até cinco pontos, segundo critérios de pontuação determinados de acordo com os padrões técnicos e sociais vigentes no momento da avaliação. Os resultados para cada item avaliado são dados no formulário de pontuação em termos de Q (qualidade e desempenho) e LR (redução das cargas ambientais). Neste ponto, o LR ainda não é o factor L (cargas ambientais), e sim o nível de redução das cargas ambientais, em relação a um edifício de referência (pontuação igual a 3) suposto no mesmo terreno.

Cada item avaliado é ponderado de forma que a soma dos coeficientes de ponderação dentro de uma categoria de avaliação seja igual a 1.

A pontuação de cada item é multiplicada pelo coeficiente de ponderação correspondente (pré-definido), e agregada em totais de pontos por categoria de Q (Eq 1) ou LR (Eq 2). O indicador de eficiência ambiental (BEE) é obtido pela Eq 3 [JSBC, 2002}.

$$S_Q = \sum_1^3 (Q \times C_{pond}) \quad \text{Eq 1}$$

$$S_{LR} = \sum_1^3 (LR \times C_{pond}) \quad \text{Eq 2}$$

$$BEE = Q/L, \text{ onde} \quad \text{Eq 3}$$

$$Q = 25 (S_Q - 1)$$

$$L = 25 (5 - S_{LR})$$

Além dos valores numéricos, os resultados são sumariados em gráficos de radar, de colunas e no diagrama de BEE (Fig 16). O CASBEE classifica o desempenho do edifício em cinco níveis: **S** (superior), **A**, **B+**, **B-** e **C**, onde **S** é a melhor classificação possível.

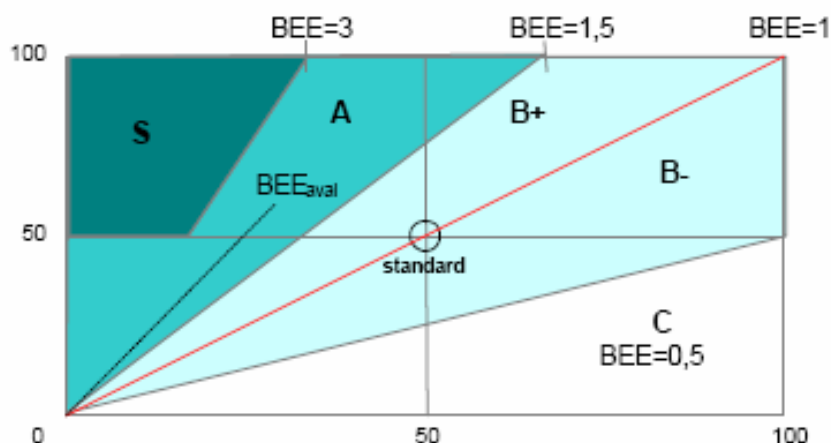


Figura 16. Diagrama de eficiência ambiental do edifício (BEE)

3.2.3 ATHENA – Environmental Impact Estimator

O programa Athena é uma ferramenta ambiental de suporte à decisão para materiais de construção e edifícios, que foi desenvolvida pelo Athena Sustainable Institute em 2000. A ferramenta Athena ajuda os projectistas a alcançar um melhor desempenho ambiental mostrando lado a lado, e em comparações gráficas, até cinco soluções construtivas, conforme se demonstra na fig. 17. Com a visualização desta janela de controlo torna-se mais fácil a visualização de todos os projectos, a localização e manipulação dos conteúdos dos mesmos.

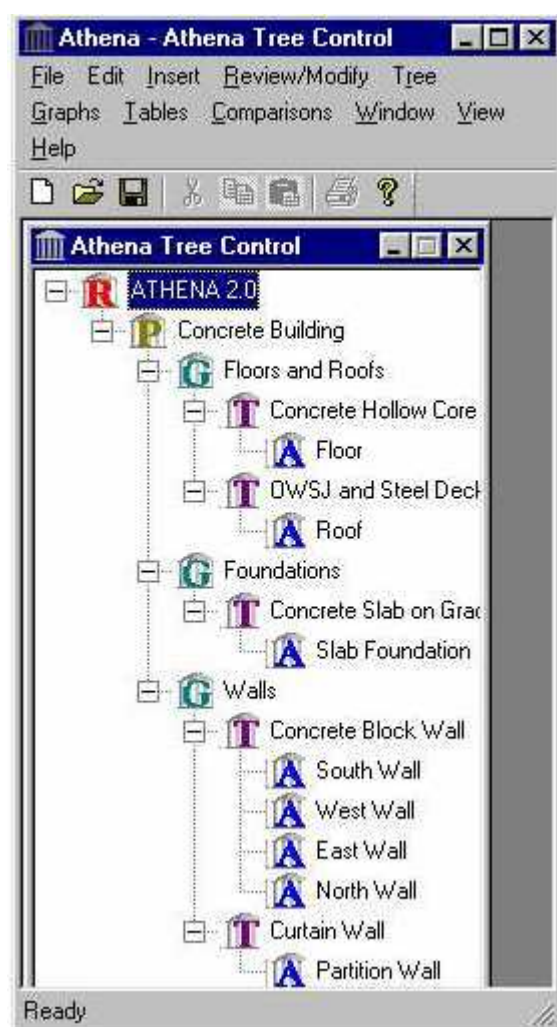


Figura 17. Janela do programa – Athena Tree Control

É uma ferramenta prática, fácil de usar, que proporciona dados ambientais de elevada qualidade, dando assistência nas avaliações necessárias para fazer escolhas ambientais complexas.

O ATHENA põe o ambiente em destaque igual com outros critérios mais tradicionais do projecto, aquando da sua concepção.

Possui uma base de dados própria que cobre mais de 90% dos sistemas estruturais que são usados tipicamente em edifícios residenciais e comerciais.

Na América do Norte, o software ATHENA® (Estudo de impacto em edifícios) é actualmente a única ferramenta que avalia edifícios no seu todo.

A figura 18 identifica a fase inicial com os dados gerais do projecto: nome, localidade, área de implantação, o período de vida da construção e o uso da construção. Usando esta ferramenta, os arquitectos, engenheiros e coordenadores podem facilmente avaliar e comparar as implicações ambientais de projectos industriais, institucionais, comerciais e residenciais para edifícios novos.

Figura 18. Descrição Geral do Projecto

É de registar que o software também distingue habitações próprias de edifícios de aluguer.

Após especificar um projecto a partir da selecção das estruturas características e introduzindo quantidades específicas dos produtos nas suas fases de construção, o ATHENA decompõe as estruturas nos seus respectivos produtos, com o objectivo de aplicar as bases de dados de inventário. Depois os

resultados mostram os dados de até seis impactos ambientais (energia inicial, poluição do ar e da água, potencial aquecimento global, consumo recursos, e emissões de resíduos sólidos) na forma de gráficos (fig.19) ou em tabelas (fig. 20).

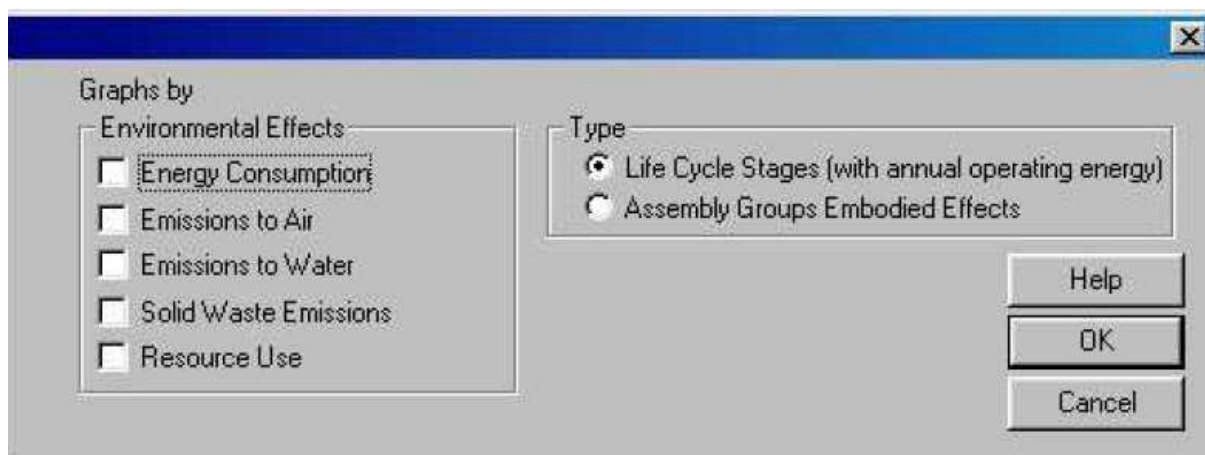


Figura 19. Gráficos para os seis impactos ambientais

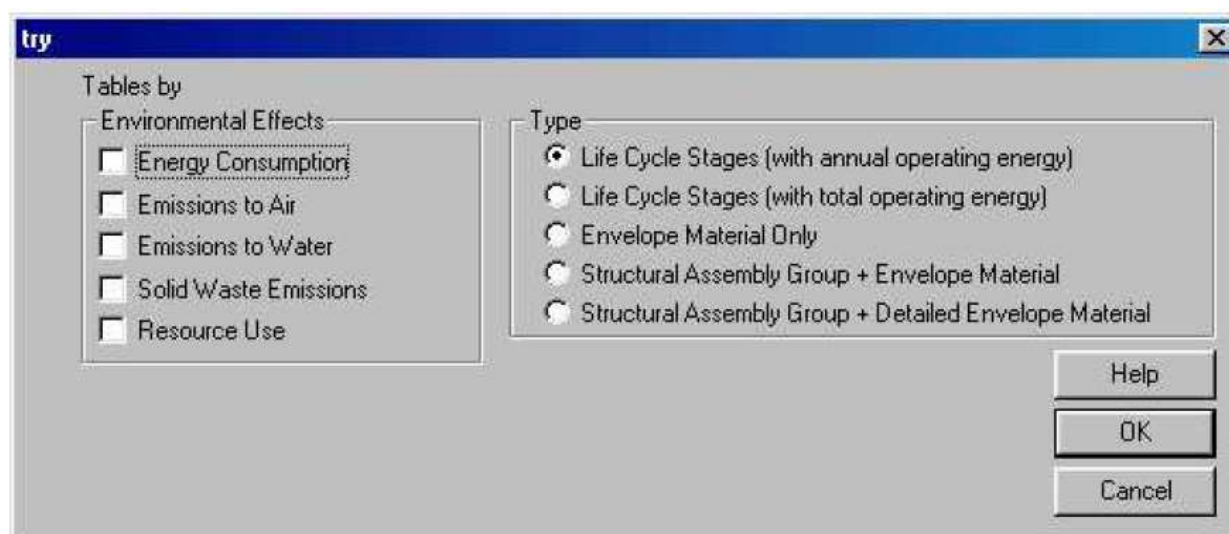


Figura 20. Tabelas para os seis impactos ambientais

O ATHENA tem em conta os impactos ambientais seguintes, na análise do ciclo de vida:

- Produção dos Materiais, incluindo a extracção do recurso e dados referentes à reciclagem.
- Dados relativos ao transporte
- Construção no local

- Variações Regionais de energia usada, transportes e outros itens
- Tipos de Edifícios
- Efeitos na Manutenção, reparações e alterações.
- Demolição e reciclagem
- Emissões de energia

Outras funções do ATHENA

- Relatórios individuais em tabelas, sumários associados a ciclos de vida
- Tabelas detalhadas com as formas de energia e suas emissões
- Comparações passo-a-passo com vários modelos (fig. 21)

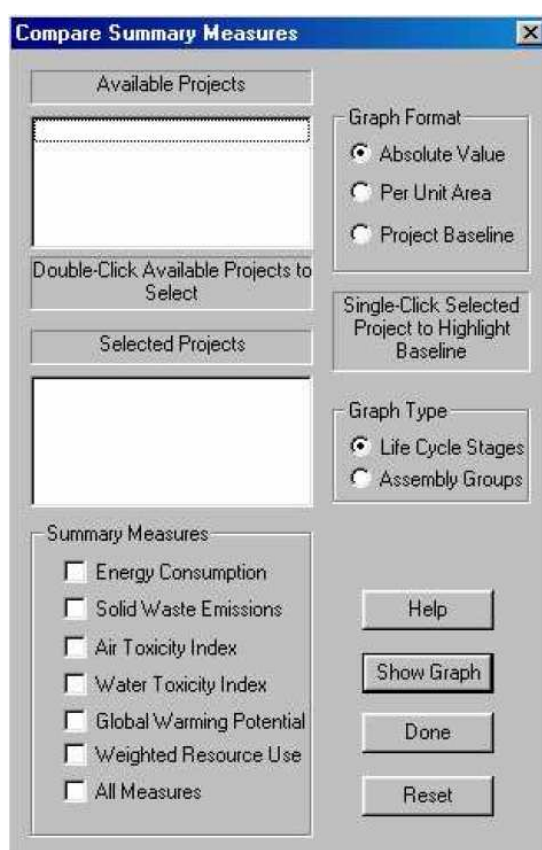


Figura 21. Comparação dos processos construtivos

Embora ACV seja um processo complexo, o ATHENA foi projectado para uma fácil utilização, realizando análises complexas e apresentando-as num formato simples para o utilizador. O programa permite aos seus utilizadores avaliar o ciclo de vida desde o berço até ao fim da vida dos edifícios.

De seguida e como uma introdução, apresentamos os resultados de um estudo baseado neste tipo de avaliação, realizada pelo Instituto de Athena do Canadá, e que nos parece relevante a sua apresentação:

O Instituto ATHENA de Materiais Sustentáveis do Canadá é, desde há muito tempo, uma instituição líder no campo da Avaliação do Ciclo de Vida. Em 1998 comparou o impacto ambiental originado pela construção de uma casa familiar de 223 m² que utilizou três tipos de estrutura: uma estrutura de madeira, uma estrutura metálica e uma estrutura de betão. As três casas foram concebidas para cumprir as mesmas normas canadianas de integridade estrutural e para que tivessem um funcionamento muito semelhante.

Avaliaram-se seis parâmetros fundamentais do ciclo de vida (tal como o programa Canadano Athena do nosso estudo de caso): a energia inicial necessária à sua elaboração, os recursos utilizados, as emissões de gases, as emissões que contribuem para a toxidade do ar e da água e dos resíduos sólidos, que apresentamos de seguida, na forma de tabela:

Tabela 6. Resumo dos resultados obtidos

Resumo dos Resultados do Estudo do Instituto de Athena	Madeira	Aço	Betão
1- Energia (Gj)	255	389	562
2- Peso dos recursos utilizados (kg)	121.804	138.501	234.996
3- Aquecimento global potencial equivalente (kg CO2)	62.183	76.453	93.573
4- Medida de volume de toxidade critica do ar	3.236	5.628	6.971
5- Medida de volume de toxidade critica da água	407.787	1.413.784	876.189
6- Resíduos Tóxicos	10.746	8.897	14.056

Como se pode verificar a estrutura de madeira foi a que apresentou melhores resultados em praticamente todos os parâmetros.

Esta ferramenta informática irá ser apresentar mais detalhadamente, no próximo capítulo, onde iremos apresentar o nosso estudo de caso.

4 ESTUDO DO CASO: ACV DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS APOIADO PELO PROGRAMA ATHENA

4.1 Introdução

O estudo que se apresenta tem como principal objectivo avaliar comparativamente três soluções distintas utilizando uma ferramenta de avaliação ambiental de edifícios reconhecida internacionalmente (programa ATHENA), bem como verificar se este método pode ser incorporado para avaliar a parte ambiental da avaliação de sustentabilidade proposta para os edifícios portugueses.

Na avaliação ambiental de uma edificação devemos acrescentar que aspectos importantes como a energia incorporada aos materiais e o volume de resíduos gerados nas actividades de construção e demolição já não podem ser negligenciados.

O estudo de caso será desenvolvido no programa ATHENA, versão 3.0.2, no sentido de avaliar o ciclo de vida e o impacto de um edifício unifamiliar, seleccionado por ser a ferramenta que avalia o edifício no seu todo, ou seja, em todas as fases da sua construção são gerados impactos ambientais na forma de gráficos e tabelas.

O edifício, a construir em Aveiro, vai ser inserido no programa ATHENA, com 3 soluções construtivas distintas, dependendo da base de dados do programa. Os resultados irão ser analisados e testados com sentido critico bem como verificar as potencialidades do programa.

Realiza-se um estudo comparativo para três soluções construtivas avaliando deste forma a sustentabilidade de cada uma delas, desde o início (produção dos materiais) até ao fim do ciclo de vida (demolição) do edifício.

A metodologia desenvolvida, ainda que simples, por englobar um reduzido número de parâmetros, poderá constituir uma base para futuras investigações que abordem o desenvolvimento de sistemas mais complexos de análise da sustentabilidade de edifícios, adequados às soluções construtivas portuguesas.

Estes resultados poderão servir de apoio aos projectistas na selecção de tecnologias construtivas a integrar num edifício, de modo a que os desígnios por uma construção mais sustentável sejam cada vez mais uma realidade.

4.2 Metodologia Experimental

O sistema de avaliação ATHENA encontra-se orientado para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, numa perspectiva global, em que as principais áreas de verificação serão energia inicial, poluição do ar e da água, potencial aquecimento global (kg de CO₂), recursos utilizados durante a sua vida e as emissões de resíduos sólidos.

O caso prático apresentado diz respeito a uma moradia unifamiliar de dimensões quadradas de 5,0 m X 5,0 m, perfazendo uma área de aproximadamente de 25 m². É constituída por um piso térreo composta por uma sala que liga directamente à cozinha, 2 quartos e um W.C. O número e tamanho das janelas bem como a sua localização estão definidos nos alçados da fig. 22.

Escolheu-se este tipo de solução para tornar mais fácil a sua introdução no software Athena, uma vez que o nosso principal objectivo é a comparação de três processos construtivos para a mesma solução.

A aplicação deste sistema de avaliação obriga à utilização de soluções construtivas que constam na base de dados pelo que estamos condicionados nas escolhas a adoptar neste trabalho. Seria assim desejável adaptar estes sistemas às soluções construtivas aplicadas nos edifícios portugueses. Para tal, o primeiro passo a dar, seria o desenvolvimento de bases de dados que reúnam as características das nossas soluções construtivas.

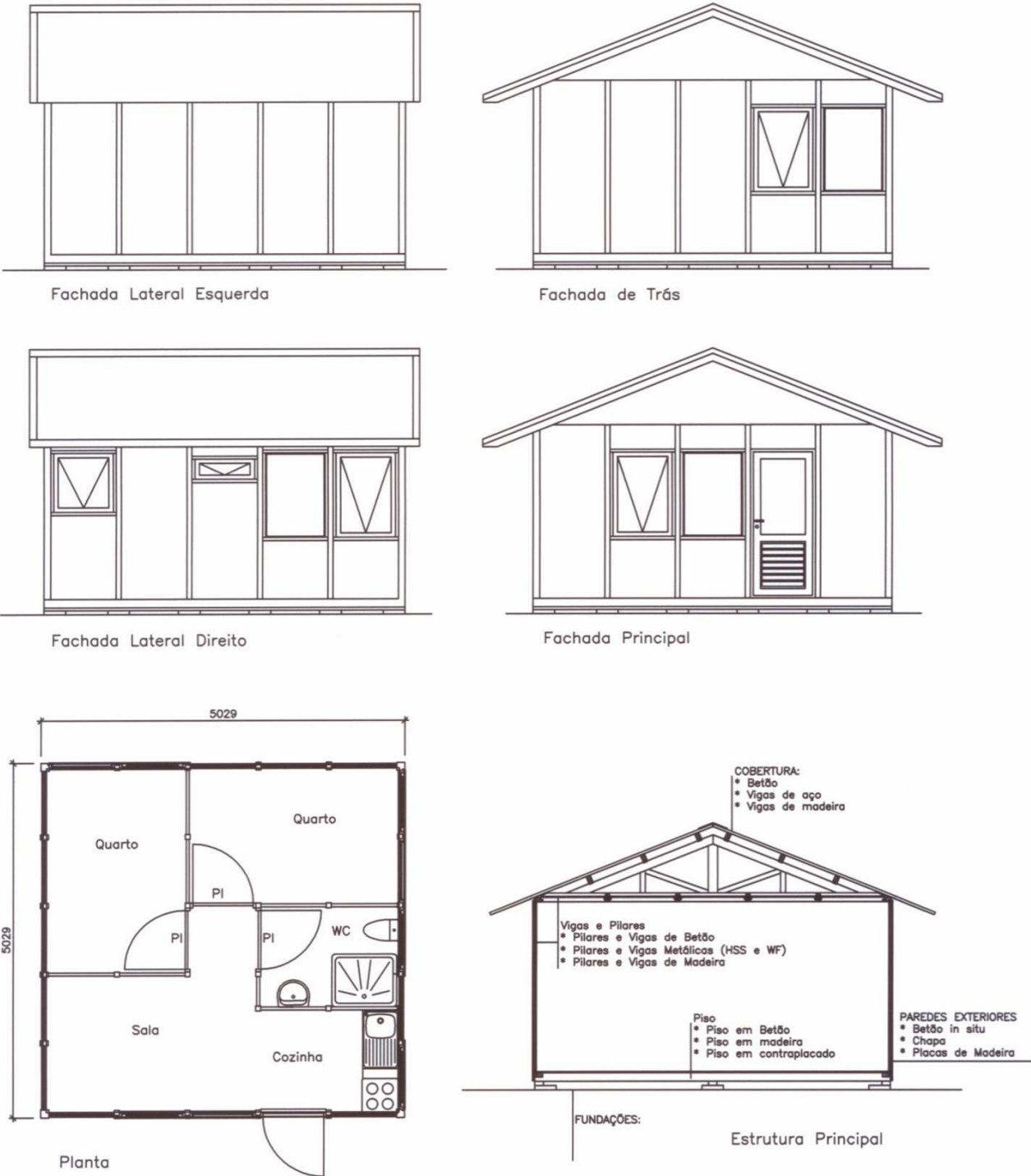
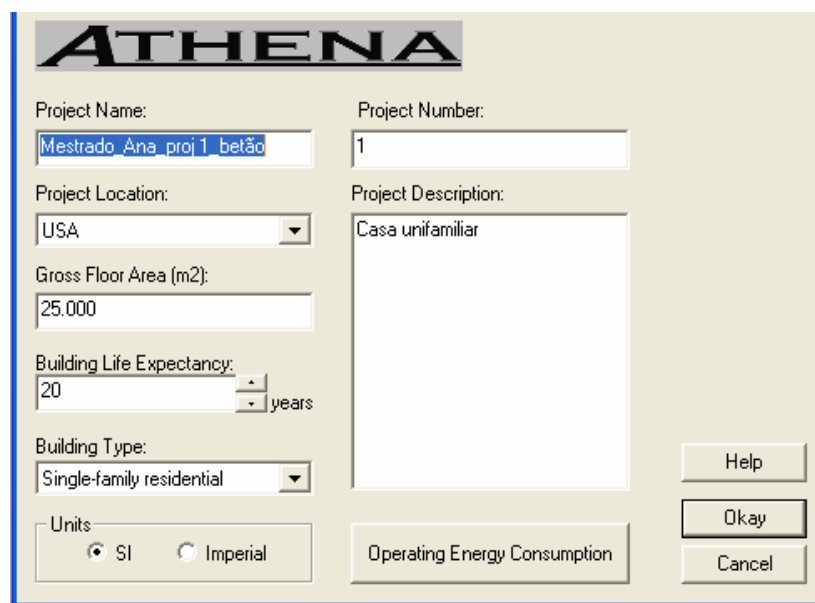


Figura 22. Plantas e Alçados do modelo de avaliação

O primeiro passo é introduzir a informação requerida tal como: a localização geográfica (o sistema só permite seleccionar regiões específicas do Canadá e Estados Unidos), vida útil do edifício, o tipo de ocupação e opcionalmente pode ser adicionado informação sobre os valores energéticos anuais.

Por restrição do programa foi indicado que a localização da moradia seria nos EUA e o período de vida da construção foi fixado nos 20 anos, conforme ilustrado na fig. 23.



The screenshot shows the 'ATHENA' software window. It contains several input fields and buttons. The 'Project Name' field is filled with 'Mestrado Ana proj 1 betão'. The 'Project Number' field is filled with '1'. The 'Project Location' dropdown menu is set to 'USA'. The 'Gross Floor Area (m2)' field is filled with '25.000'. The 'Building Life Expectancy' field is filled with '20' and has a unit dropdown set to 'years'. The 'Building Type' dropdown menu is set to 'Single-family residential'. The 'Units' section has two radio buttons: 'SI' (selected) and 'Imperial'. The 'Project Description' text area contains 'Casa unifamiliar'. There are three buttons on the right: 'Help', 'Okay', and 'Cancel'. At the bottom, there is a button labeled 'Operating Energy Consumption'.

Figura 23. Introdução dos dados gerais para cada projecto

Para atingirmos os nossos objectivos e dadas as limitações do sistema de avaliação escolhido, todos os dados relativos aos diversos materiais construtivos foram obtidos da base de dados do programa.

No que respeita aos valores energéticos anuais foram introduzidos apenas os combustíveis utilizados em Portugal: electricidade, gás natural e diesel.

Podemos também visualizar os projectos inseridos através da janela de controlo "Athena Tree Control, conforme é ilustrado na fig. 24, tornando-se mais fácil a visualização, manipulação e alteração de todos os projectos inseridos no programa.

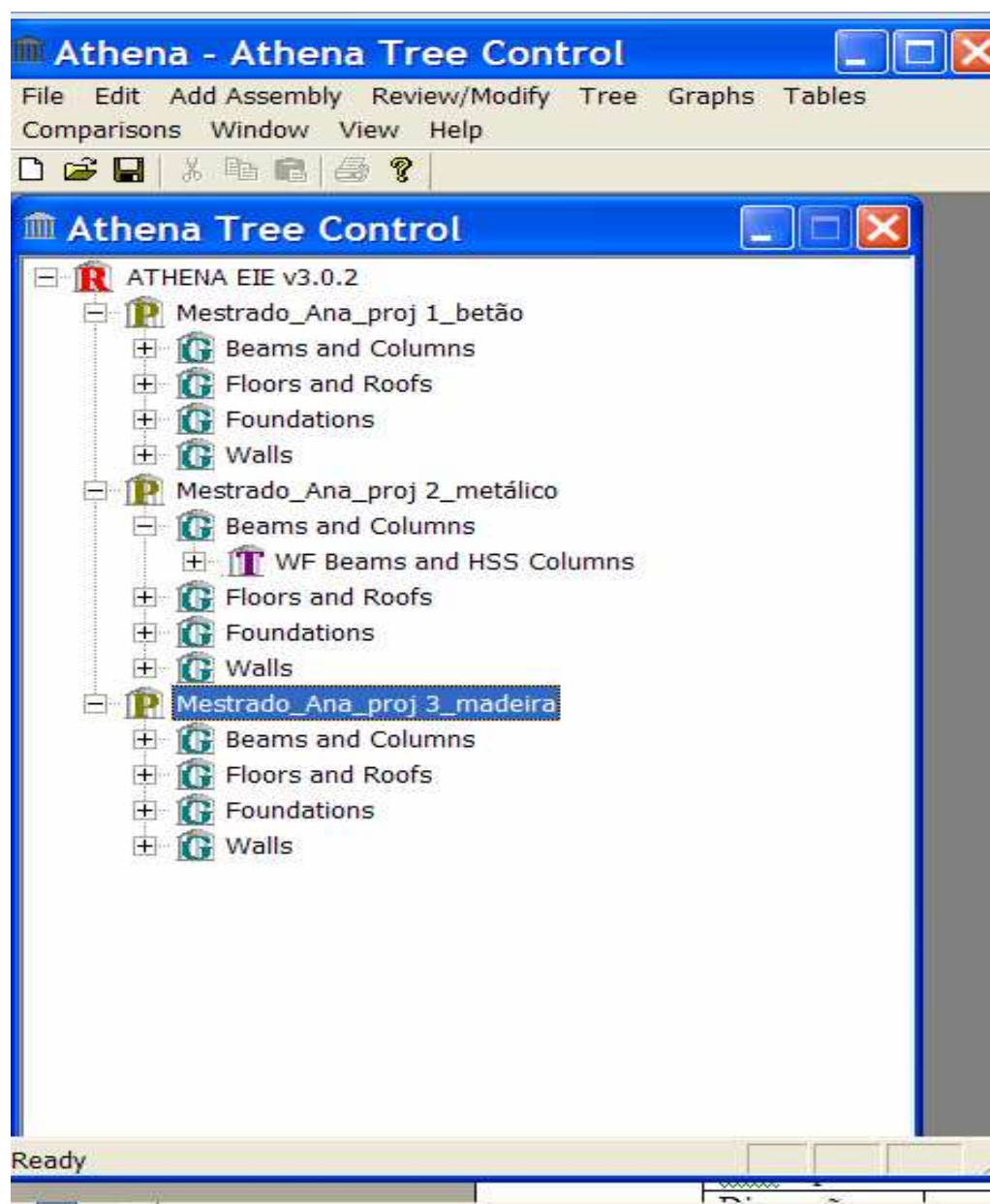


Figura 24. Athena Tree Control

A informação no programa Athena encontra-se organizada por projectos, onde podemos inserir as diferentes fases de construção: fundações, vigas e colunas, paredes e pisos e coberturas.

Após introdução dos dados gerais são gerados os dados para cada projecto e para cada fase construtiva. A introdução e definição destas fases são efectuadas na pasta "Add Assembly".

As tabelas 7, 8, 9 e 10 mostram as soluções construtivas adoptadas para as diferentes fases de construção: fundações, vigas, pilares, piso, cobertura e paredes exteriores, partindo sempre da base de dados do programa.

Tabela 7. Fundações

Betão		Aço		Madeira	
Fundações: - Piso térreo: Laje em betão com espessura de 200 mm		Fundações: - Piso térreo: Laje em betão com espessura de 200 mm		Fundações: - Piso térreo: Laje em betão com espessura de 200 mm	
Dimensões:		Dimensões:		Dimensões:	
Largura: 5 m	Comprimento: 5 m	Largura: 5 m	Comprimento: 5 m	Largura: 5 m	Comprimento: 5 m
Betão: 20 MPa		Betão: 20 MPa		Betão: 20 MPa	

Por uma questão de simplificação na análise do ciclo de vida, optou-se por introduzir as fundações iguais para as três soluções construtivas, adoptando uma laje de betão, com dimensões em planta 5 m x 5 m, espessura de 20 cm e com qualidade de betão de 20 Mpa.

Tabela 8. Vigas e Pilares

Betão			Aço			Madeira		
Vigas e Pilares: Em betão			Vigas e Pilares: Colunas metálicas HSS e Vigas metálicas WF			Vigas e Pilares: Colunas de madeira e vigas de Glulam		
Dimensões:			Dimensões:			Dimensões:		
Altura 2.5 m	Comp.: 2x3.05 m	Vão: 6.1 até 9.1 m	Altura: 2.5 m	Comp.: 3.05 m	Vão: 6.1 até 9.1 m	Altura 2.5 m	Comp.: 2x3.05 m	Vão: 4.6 até 7.0 m
Sobrecarga: 2.4 kPa			Sobrecarga: 2.4 kPa			Sobrecarga: 2.4 kPa		

Os pilares, as vigas, o piso e a cobertura escolhidos nas três soluções tentam ilustrar o que se pratica em Portugal. A sobrecarga usada foi de 2,4 kPa, parâmetro aconselhado pelo programa Athena e considerado no Canadá para moradias unifamiliares.

No que respeita às paredes e para o projecto de betão, a preocupação de seleccionar a solução clássica usado em Portugal, ou seja, a parede de alvenaria, saiu gorada. Na base de dados do programa só nos é permitido escolher as paredes em betão, processo este não muito usado em Portugal.

Tabela 9. Piso / Cobertura

Betão	Aço	Madeira
Piso e Cobertura: - Vigotas e piso em betão	Piso e Cobertura: - Vigas metálicas e piso em OSB	Piso e Cobertura: - Vigas em madeira e piso em contraplacado
Dimensões: Área Piso: 25 m ²	Comprimento: 2x2.5 m	Vão: 5 m
Sobrecarga: 2.4 kPa		

Por uma questão de simplificação, em cada processo construtivo, foi considerado nas quatro fachadas da moradia, o mesmo revestimento.

Tabela 10. Paredes Exteriores

Betão	Aço	Madeira
Paredes Exteriores: - Paredes de betão In-situ	Paredes: - Paredes com perfis em aço	Paredes: - Paredes de madeira
Reforço: 20 m	Espessura: 39 x 92	Espessura: 38 x 89
Espessura Paredes - 200 mm	Peso - Leve (25 Ga)	Stud type: Green Lumber
Betão: 60 MPa	Acabamento: Plywood	Acabamento: Plywood

As estruturas foram dimensionadas de forma a desempenhar a mesma performance estrutural.

Após introdução dos dados, o programa Athena calcula a avaliação do ciclo de vida para cada tipo de construção mostrando-nos os resultados finais, em forma de tabela diversas, onde aparecem índices como:

- Energia Primária Incorporada
- Resíduos sólidos
- Emissões de poluição da água e do ar
- Potencial de Aquecimento Global
- Consumo dos recursos naturais utilizados

4.3 Resultados e Discussão

Após esta primeira fase concluída, é efectuado o cálculo do impacto ambiental considerando as emissões gasosas, líquidas e sólidas, quantidades de matérias-primas e os resíduos gerados.

Tabela 11. Avaliação do Ciclo de Vida da solução de betão

Athena Hard Copy Table Report						
Mestrado_Ana_proj 1_betão						
Project Number 1						
Project City USA						
Floor Area 25.0 m ²						
Project Description Casa unifamiliar						
RESULTADOS ETAPAS	Energia primária consumida (MJ)	Emissão Resíduos Sólidos (kg)	Índice Poluição do Ar	Índice Poluição da Água	Potencial Aquecimento Global (kg)	Consumo Recursos Utilizados (kg)
Produção matérias-primas:						
Material	120770	2593	2024	2	12237	90438
Transporte	4121	0	1	0	7	99
Total:	124891	593	2025	2	12244	90537
Construção:						
Material	4049	710	118	0	277	92
Transporte	4591	0	1	0	8	104
Total:	8640	710	119	0	285	196
Manutenção:						
Material	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0
Total:	0	0	0	0	0	0
Demolição:						
Material	4	0	0	0	0	0
Transporte	1781	0	1	0	3	40
Total:	1785	0	1	0	3	40
Totais:						
Materiais	124823	3303	2142	2	12514	90530
Transporte	10493	0	3	0	18	243

Os gráficos e tabelas, bem como a comparação entre os projectos serão dados através das pastas do programa "Graphs" e "Comparisons", respectivamente. A tabela 11 mostra, para o caso de betão, os resultados obtidos, em unidades do sistema internacional.

A tabela 12 mostra o caso em que utiliza o aço como solução construtiva. Comparativamente com a solução de betão, a solução metálica apresenta também valores elevados na energia primária incorporada nas matérias-primas.

Tabela 12. Avaliação do Ciclo de Vida da solução metálica

Athena Hard Copy Table Report						
Mestrado_Ana_proj 2_metálico						
Project Number 2						
Project City USA						
Floor Area 25.0 m ²						
Project Description Casa unifamiliar						
RESULTADOS ETAPAS	Energia primária consumida (MJ)	Resíduos Sólidos (kg)	Índice Poluição do Ar	Índice Poluição da Água	Potencial Aquecimento Global (kg)	Peso dos Recursos Utilizados (kg)
Produção:						
matérias-primas:						
Material	56787	774	663	16	4261	21720
Transporte	732	0	0	0	1	21
Total:	57519	774	663	16	4262	21741
Construção:						
Material	2158	285	22	0	158	163
Transporte	4022	0	1	0	6	91
Total:	6180	285	23	0	164	254
Manutenção:						
Material	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0
Total:	0	0	0	0	0	0
Demolição:						
Material	2	0	0	0	0	0
Transporte	357	0	0	0	1	8
Total:	359	0	0	0	1	8
Totais:						
Material	58947	1059	685	16	4419	21883
Transporte	5111	0	1	0	8	120

A tabela 13 mostra os valores gerados para o caso da solução construtiva madeira. Os valores apresentados são menores que as duas soluções anteriores, verificando-se menores impactos ambientais e resultados mais equilibrados.

Tabela 13. Avaliação do ciclo de vida da solução de madeira

Athena Hard Copy Table Report Mestrado_Ana_proj 3_madeira Project Number 3 Project City USA Floor Area 25.0 m ² Project Description Casa unifamiliar						
RESULTADOS ETAPAS	Energia inicial consumida (MJ)	Resíduos Sólidos (kg)	Índice Poluição do Ar	Índice Poluição da Água	Potencial Aquecimento Global (kg)	Peso dos Recursos Utilizados (kg)
Produção:						
matérias-primas:						
Material	28936	456	360	1	1874	21246
Transporte	1001	0	0	0	2	23
Total:	29937	456	360	1	1876	21269
Construção:						
Material	2587	493	30	0	192	222
Transporte	4157	0	1	0	5	94
Total:	674	493	31	0	197	316
Manutenção:						
Material	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0
Total:	0	0	0	0	0	0
Demolição:						
Material	2	0	0	0	0	0
Transporte	356	0	0	0	1	8
Total:	358	0	0	0	1	8
Totais:						
Material	31525	949	390	1	2066	21468
Transporte	5514	0	1	0	8	125

Após análise é de salientar o valor elevado que se verifica na energia primária consumida em relação aos restantes índices ambientais. No final de cada etapa do ciclo de vida, obtemos os resultados totais tanto em termos de recursos utilizados com os materiais como no seu transporte. A última linha da tabela faz referência à síntese dos resultados finais totais, desde a produção das matérias-primas até à sua demolição, ou seja, desde o berço até ao túmulo.

De seguida discute-se os seis critérios de avaliação comparando-os com os três diferentes processos construtivos: betão, metálico e madeira, no sentido de avaliarmos o melhor sistema construtivo, ou seja, definir aquele que proporciona resultados ambientais mais favoráveis.

4.3.1 Consumo de Energia Primária Inicial

A energia incorporada entra em linha de conta com a energia envolvida no processo de extracção de matérias-primas e processamento dos materiais até à obtenção do produto final.

A construção civil tem uma importante repercussão a nível mundial, quer no consumo de recursos naturais, quer na produção de impactos ambientais. No nosso país, a identificação das incidências ambientais da indústria da construção está mais atrasada do que noutras actividades industriais.

No gráfico abaixo (fig. 25) compara respectivamente a energia incorporada e o impacto ambiental gerado por cada uma das soluções construtivas conforme explicado anteriormente.

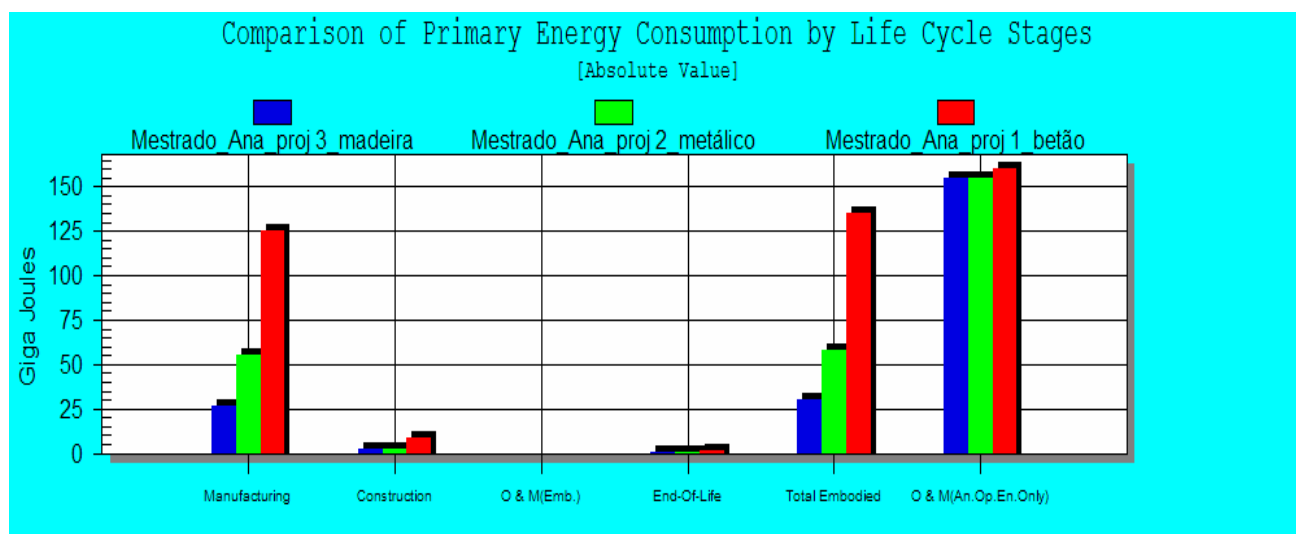


Figura 25. Energia primária consumida nas diversas etapas do Ciclo de Vida (produção, construção, manutenção, demolição e a envolvente total do edifício)

Para as diferentes fases do ciclo de vida da construção, a solução de madeira apresenta a menor energia incorporada e o mais baixo índice de impacto ambiental.

A diferença mais notória é verificada na energia consumida na extracção das matérias-primas e recursos utilizados durante a sua vida, com mais de 100 % de energia consumida na solução de betão comparativamente com a solução de madeira.

Analizando as diferentes fases da construção, desde as fundações até aos revestimentos das paredes e cobertura, nas três soluções em estudo, constatam-se grandes diferenças ao nível dos materiais utilizados em cada projecto, o que leva a afirmar que a solução de madeira é a que conduz a um consumo menor, comparativamente com a solução de betão.

É de realçar que nas diferentes fases de construção apresentadas, a que se destaca pelo valor elevado de consumo de energia consumida (95 Giga Joules) é nas vigas e colunas de betão, enquanto que na solução de aço e madeira essa diferença já não é tão acentuada, com valores em cada uma das fases entre os 5 e os 20 Giga Joules.

A grande diferença entre as soluções adoptadas centra-se nas vigas e pilares, com consumos quatro vezes superiores, devido à quantidade de material usado nessa fase de construção comparativamente com as outras soluções.

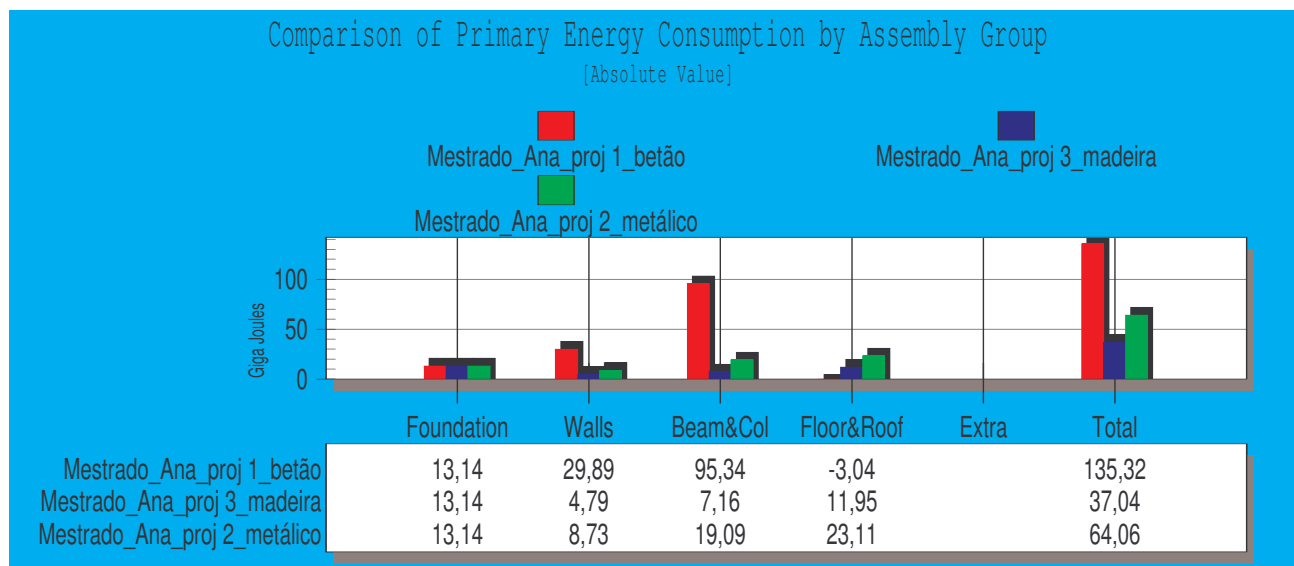


Figura 26. Energia primária consumida nas diferentes fases da construção: fundações, paredes, vigas e colunas, piso e cobertura

4.3.2 Emissões de resíduos sólidos

As empresas de construção civil contribuem significativamente para as emissões de resíduos, chamados desperdícios, pese embora já se conhecem resultados bastante positivos. As empresas começam a preocupar-se em realizar “construções limpas”, voltadas para a implementação de “obras ambientais”, adoptando procedimentos para redução dos desperdícios de materiais e diminuição do impacto ambiental das construções.

Por esta razão, na fase de construção, a solução metálica apresenta melhores resultados comparativamente com as restantes soluções, produzindo apenas 285 kg de resíduos sólidos na obra. Isto deve-se ao facto de que nas obras com estruturas metálicas os resíduos de construção serem mínimos, a chamada “construção limpa”, pois todas as peças estruturais são efectuadas em fábrica e não em obra.

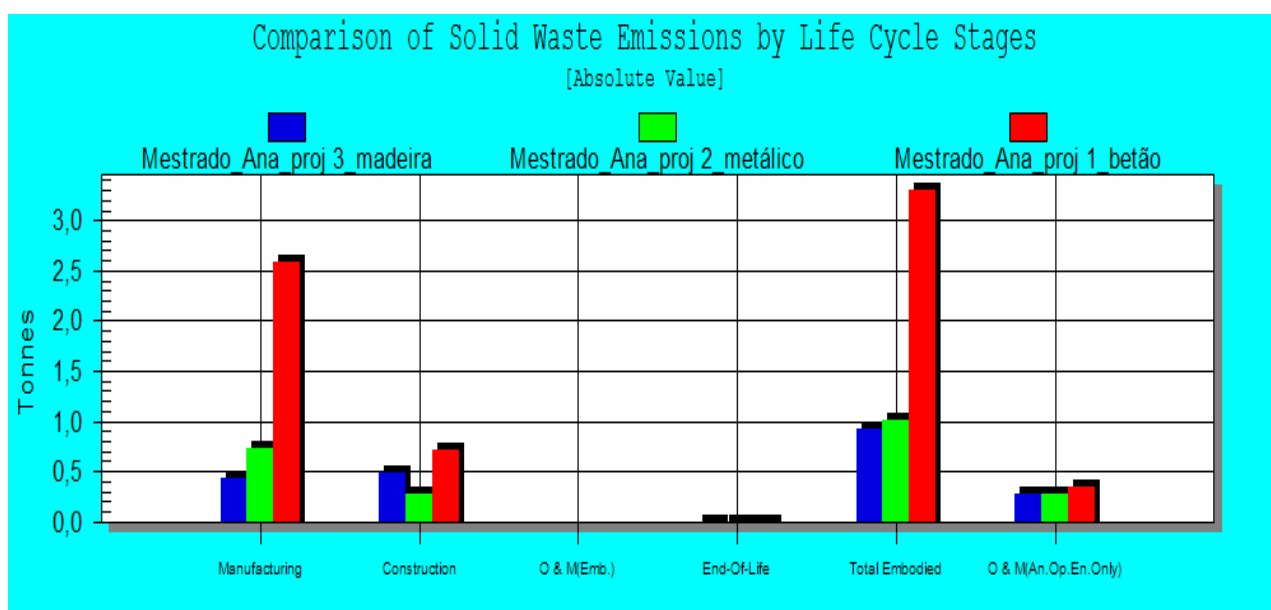


Figura 27. Emissões de resíduos sólidos

A solução de betão é a solução que apresenta mais resíduos em obra, com 710 kg de resíduos gerados em obra, o que é fácil de explicar devido à realização de grande parte dos elementos estruturais em obra.

Desta forma, para evitar tantos desperdícios, devemos planear na fase de projecto as quantidades necessárias e gerir os recursos na fase de construção pois a abundância leva-nos a desperdícios desnecessários.

Os benefícios do uso de materiais recicláveis no ciclo produtivo atenuam os problemas que se têm verificado, devido a vários factores, entre eles, o aumento populacional e aumento de pessoas nos centros urbanos. A própria reciclagem dos resíduos de construção em substituição dos recursos naturais não renováveis, pode gerar inúmeros benefícios, dando ênfase a aspectos económicos e ambientais.

No conjunto total da análise do ciclo de vida (Fig. 28), a solução de madeira, comparativamente com a energia primária consumida, é a que novamente apresenta melhores resultados, pese embora com diferenças não tão significativas em relação à solução metálica, com uma diferença de aproximadamente 100 kg de resíduos.

Os resíduos gerados na solução de betão, tanto na construção das paredes como nas vigas e colunas, ficou um pouco aquém dos valores tidos como referência, gerando 3 vezes mais resíduos que a solução de madeira. De facto os valores elevados que a solução de betão gere nestas duas fases de construção de quase 3 toneladas de resíduos sólidos, ou seja, mais desperdícios de construção, faz indicar que muito se tem a fazer para alterar esta tendência de esbanjamento de recursos.

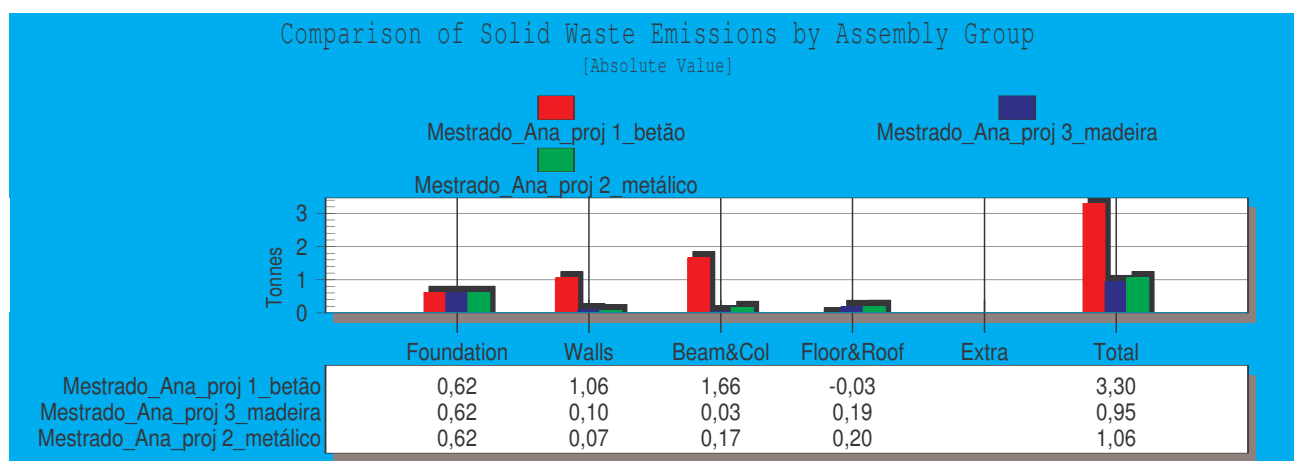


Figura 28. Emissões resíduos sólidos nas fases de construção: fundações, paredes, vigas e colunas, piso e cobertura

4.3.3 Índice de poluição do ar

A atmosfera designa-se por uma camada gasosa que envolve a Terra. É constituída por uma série de gases, sobre tudo, azoto e oxigénio. É ela que proporciona os gases necessários à nossa respiração e à fotossíntese. A actividade humana lança constantemente para a atmosfera grandes quantidades de substâncias poluentes que com o tempo vão transformando a atmosfera.

A emissão de substâncias perigosas, a utilização de fontes de energia poluentes e a destruição das florestas têm vindo a degradar a atmosfera terrestre. Como tal o uso de materiais reciclados em detrimento de matérias-primas naturais, tornou-se um objectivo para não alterarmos mais o clima da Terra e afectar a qualidade do ar que respiramos.

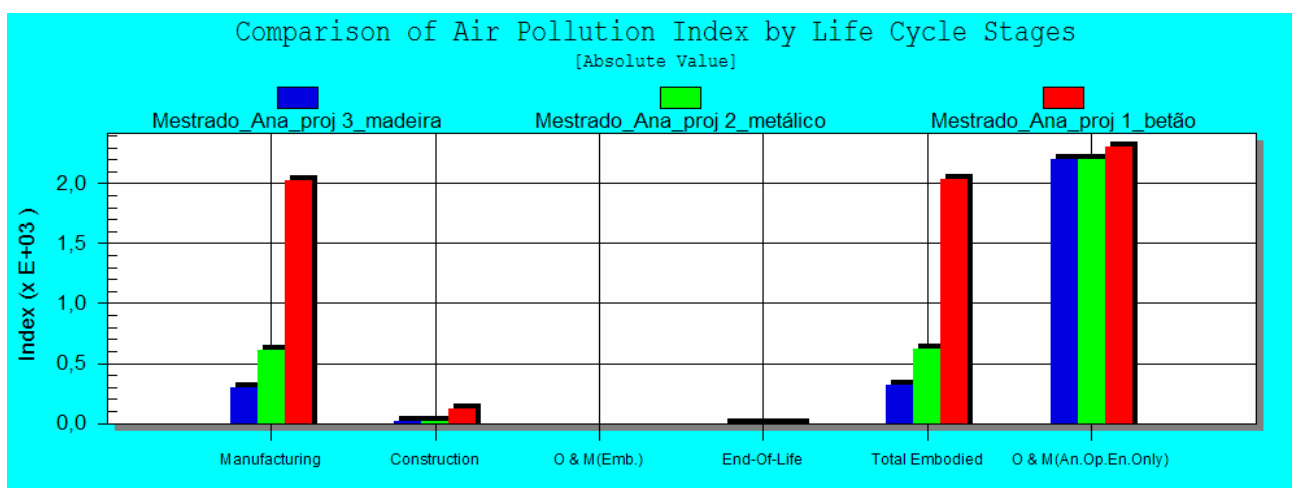


Figura 29. Índice de poluição do ar

De acordo com a fig. 29 verifica-se que existe uma grande diferença na produção de poluição do ar nas três soluções construtivas apresentadas. Enquanto que na solução de madeira verifica-se um índice de 391 e na solução metálica um índice de 686, já na solução de betão o índice da poluição triplica, verificando-se o valor de 2145.

Vejamos os vários tipos de poluentes que cada solução produz:

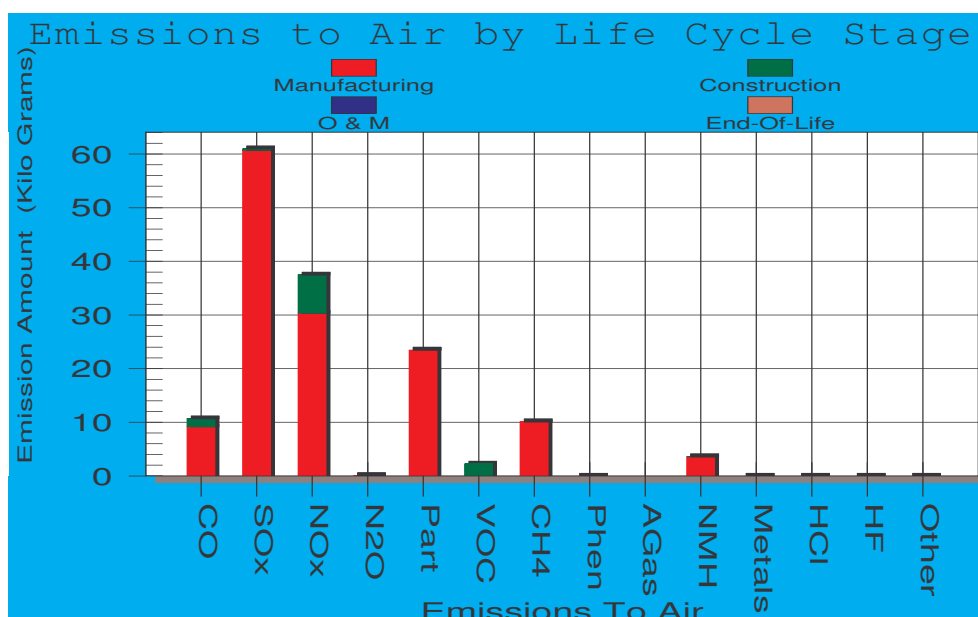


Figura 30. Poluentes do Ar – Solução de Betão

A liberação dos poluentes do ar produzidos, tal como já referido anteriormente, é nas duas primeiras fases do ciclo de vida: na produção e na construção. Nas fig. 30, 31 e 32 conseguimos ver quais os principais poluentes mais produzidos para a solução de betão, metálica e de madeira, respectivamente, e aqueles que têm mais influência:

SO₂ - O dióxido de carbono é um gás irritante e corrosivo com origem na queima de combustíveis fósseis que contém enxofre (fuel, carvão). É uma das causas das “chuvas ácidas”, podendo causar problemas respiratórios e obstrução das mesmas.

NO_x- O óxido de azoto resulta de combustão dos motores dos carros e os tipos de instalação de combustão. Podem também provocar problemas respiratórios, especialmente em doentes com asma ou doenças pulmonares crónicas, e contribuir para a formação das “chuvas ácidas”.

- CO - O óxido de carbono resulta de combustões incompletas (motores e caldeiras com funcionamento deficiente). A sua instalação pode conduzir à morte por asfixia.

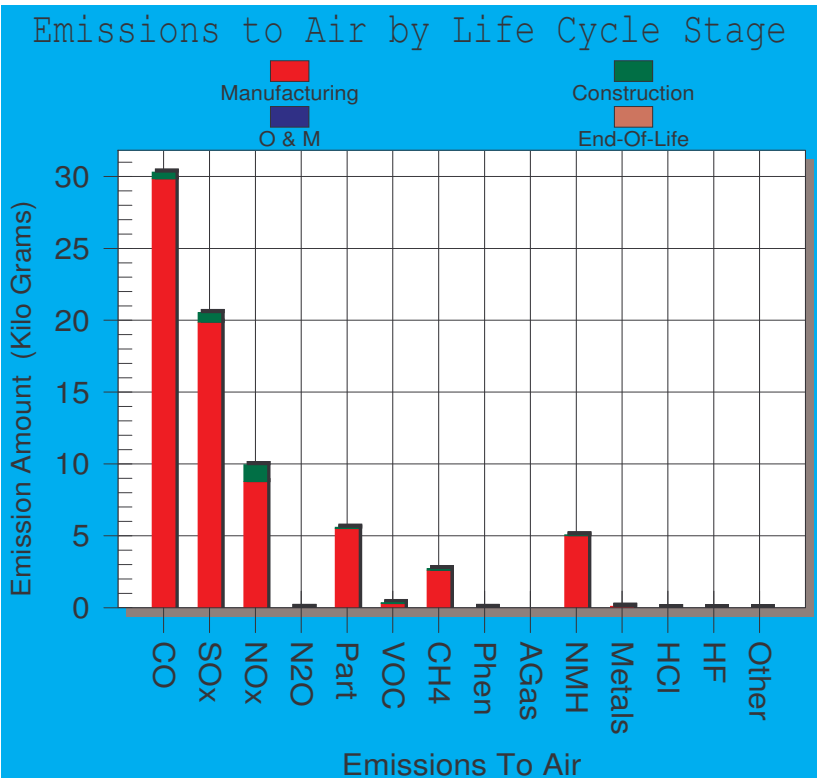


Figura 31. Poluentes do Ar - Solução metálica

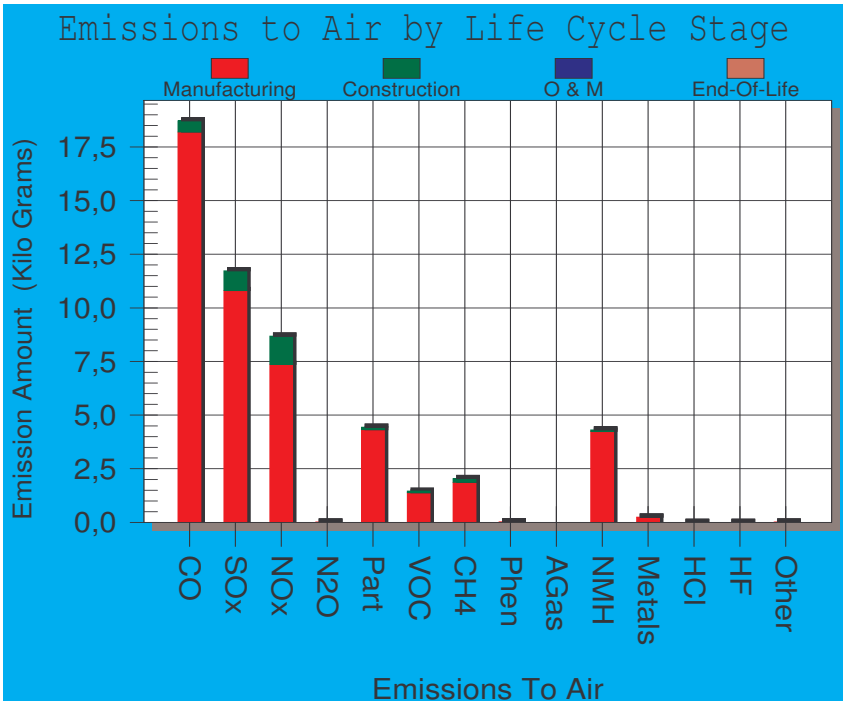


Figura 32. Poluentes do Ar - Solução madeira

A análise destas emissões atmosféricas é o resultado mais objectivo de uma análise do ciclo de vida, mas a simples análise de uma lista de substâncias não pode fornecer uma resposta imediata quanto a um produto ou processo construtivo ser mais ou menos agressivo ao ambiente que outro.

4.3.4 Índice de poluição da água

A degradação ambiental é uma realidade no país, com consequências graves para a população que fica mais exposta aos riscos de contaminação por substâncias tóxicas perigosas à saúde, levando à ocorrência de doenças associadas à poluição de água, ou por lançamento de resíduos sólidos ou por emissões líquidas.

A contaminação dos rios com lixo e resíduos de construção também torna mais dispendioso e difícil o tratamento da água destinada ao consumo da população, com a adição de uma quantidade cada vez maior de ingredientes químicos.

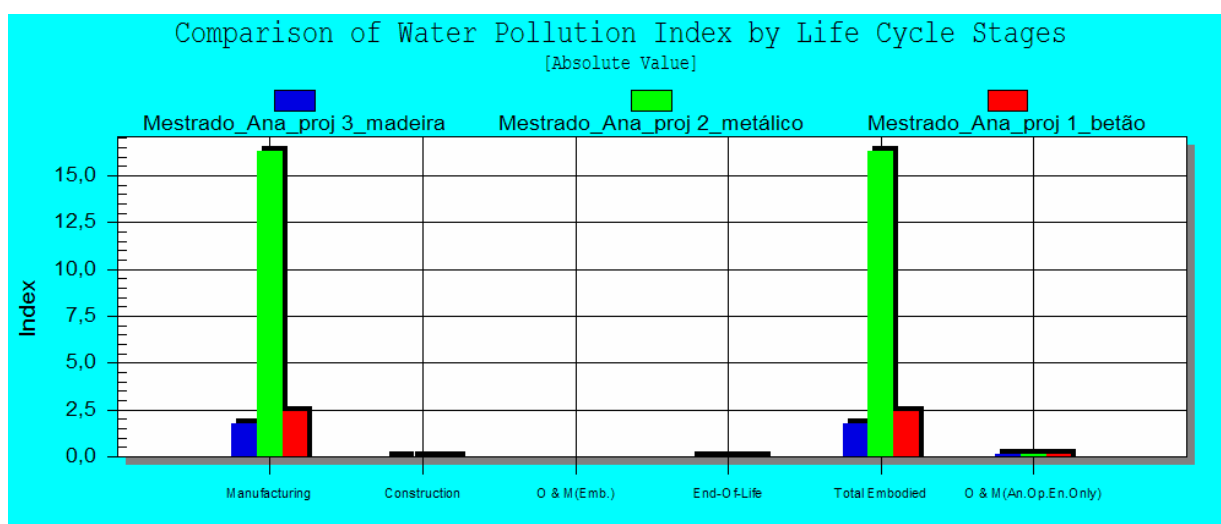


Figura 33. Emissões líquidas

No que respeita às emissões líquidas produzidas não se verifica o mesmo que os anteriores critérios de avaliação, ou seja, no índice de poluição da água a solução estrutura metálica é a que apresenta piores resultados. Não é muito relevante a diferença entre as duas soluções madeira e betão, embora a primeira apresente novamente melhores resultados.

4.3.5 Potencial de aquecimento global

O Potencial de Aquecimento Global (em inglês, *Global Warming Potential*) ou Factor de Aquecimento Global (em inglês, *Global Warming Factor*) é uma medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui para o aquecimento global. Também pode ser identificado apenas pela sigla **GWP** ou **GWF**, em referência aos nomes em inglês.

O GWP é uma medida relativa que compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1). O Potencial de Aquecimento Global é calculado sobre um intervalo de tempo específico.

Os GEE, que representam menos de 1% dos gases presentes na atmosfera (que é composta de aproximadamente 79% de azoto e 21% de oxigénio), controlam os fluxos de energia na atmosfera através da absorção da radiação infravermelha. As actividades humanas afectam este equilíbrio através do aumento das emissões de GEE e de interferências na remoção natural do GEE (e.g. através da desflorestação).

Os primeiros gases identificados como responsáveis pelo aumento do efeito de estufa, e que integram o Protocolo de Quioto são, o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e o óxido de nitroso (N₂O).

Actualmente, as actividades de produção e uso de combustíveis fósseis são responsáveis por $\frac{3}{4}$ das emissões antropogénicas de CO₂, $\frac{1}{5}$ para as de CH₄ e uma quantidade significativa de N₂O. Mais recentemente foram considerados outros GEE (incluídos também no Protocolo de Quioto), os compostos de halogenados (HFC ou hidrofluorcarbonos, PFC ou perfluorcarbonos e o SF₆ ou hexafluoretos de enxofre), que têm contribuído para o agravamento do problema do aquecimento global. Os HFC e os PFC foram introduzidos como produtos alternativos às substâncias responsáveis pela destruição da camada de ozono (CFC), enquanto que o SF₆, o gás com maior Potencial de Aquecimento Global (PAG) considerado no protocolo de Quioto, é muito usado nos sistemas de transmissão e distribuição de electricidade.

Dados do último relatório do International Panel on Climate Change – IPCC apresentado em maio de 2007, em Bangkok, Tailândia, mostram que as emissões globais de gases causadores do efeito estufa vêm aumentando desde a era pré-industrial, com um crescimento de 70% entre 1970 e 2004.

Com as actuais políticas sobre mudanças climáticas e práticas de desenvolvimento sustentável relacionadas, estas emissões continuarão a crescer nas próximas décadas.

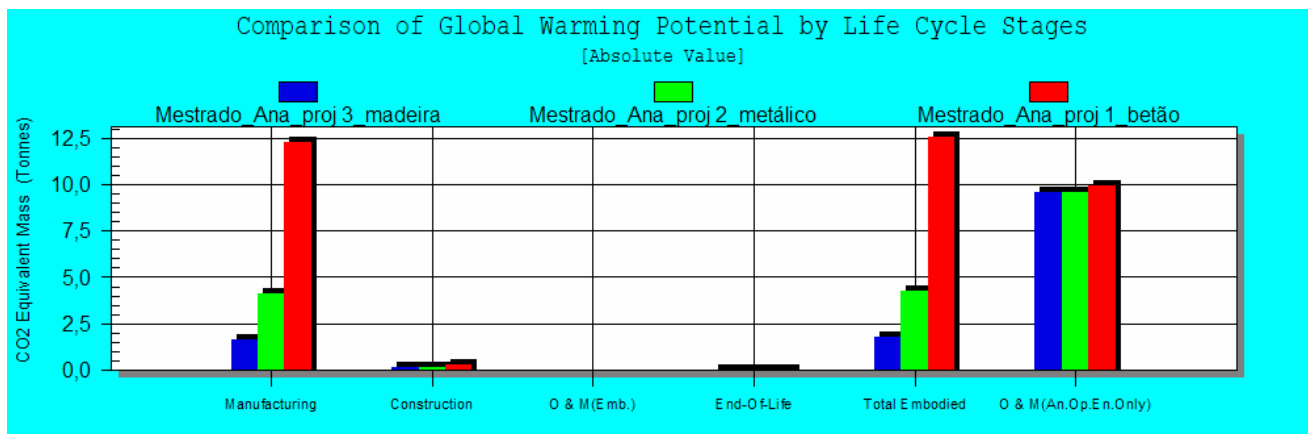


Figura 34. Potencial de Aquecimento Global na análise do ciclo de vida

O equivalente em massa de dióxido de carbono (CO_2), foi escolhido como o gás de referência (principal gás responsável pelo efeito estufa), para analisar o potencial e aquecimento global nas diferentes soluções.

Como já verificado no ponto 4.2.3, a solução de madeira é que apresenta menos emissões de poluentes para o ar. Assim verifica-se pela fig. 34 que a solução de madeira é aquela que menos poluiu e que menos contribui para o efeito de estufa.

4.3.6 Consumo de recursos naturais utilizados

A construção e o uso dos edifícios são um dos maiores consumidores dos recursos naturais no ambiente, consumindo 16,6% do fornecimento mundial de água pura, 25% de colheita de madeira e 40% de seus combustíveis fósseis e materiais produzidos [Wines, 2000].

Em função do modo de vida e das crescentes exigências de conforto da população, o consumo energético tem aumentado no mundo todo, sendo os países mais desenvolvidos os que apresentam maior consumo.

A concentração de CO_2 é outro dos problemas importantes ocasionados pelo desenvolvimento da sociedade e que teve grande aumento nos últimos anos. Se continuarmos na tendência de crescimento actual, estaremos cada vez mais longe do nível de sustentabilidade estabelecido no Protocolo de Quioto, sendo

necessário, entre outras estratégias, o desenvolvimento de tecnologias mais ecológicas.

As opções de eficiência energética para edifícios novos e existentes podem reduzir consideravelmente as emissões de CO₂ com benefícios económicos, destacando-se que edifícios eficientes energeticamente, além de limitar o crescimento das emissões de CO₂, podem melhorar a qualidade do ar interno e externo, melhorar o bem estar social e promover segurança em relação à energia.

Desta forma, o alto consumo dos recursos naturais e o desenvolvimento insustentável que temos experimentado até agora está ocasionando consequências económicas graves, alterações dos ciclos na fauna, secas, aumento na frequência e violência dos furacões e tempestades tropicais, redução na camada de ozono e aquecimento global provocado pelo efeito estufa.

Tudo isto coloca hoje mais do que nunca em evidência a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável em todos os níveis, e em especial às edificações, visto que a forma como são projectadas, construídas e depois usadas influenciam directamente no consumo de recursos e no conforto e saúde da população que nelas interagem.

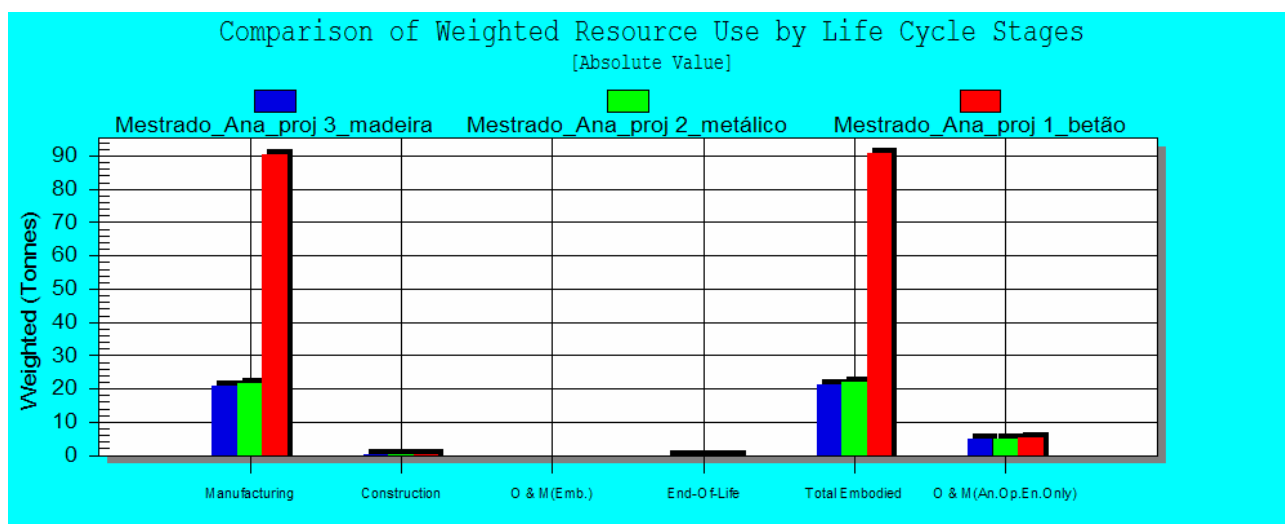


Figura 35. Recurso naturais utilizados na análise do ciclo de vida

O sexto critério a avaliar no ciclo de vida de um edifício é o consumo dos recursos naturais utilizados nas três soluções estruturais. Como podemos verificar a solução de betão apresenta muito piores resultados comparativamente com as restantes duas soluções.

Após leitura da fig. 35, a solução de betão consome mais de 90 toneladas de recursos naturais enquanto que a solução de madeira fica pelas 21,5 toneladas, levando-nos a concluir que das três soluções, a solução construtiva de madeira é a construção mais sustentável.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

As decisões sobre selecção de materiais, sistemas e tecnologias construtivas devem ser confirmadas por evidência científica suficiente para mostrar que uma determinada solução é, sob a perspectiva ambiental, a mais indicada para um contexto específico. É neste ponto que a análise do ciclo de vida de um edifício pretende chegar após considerar as opções disponíveis e os dados, o que a consequentemente a torna uma ferramenta valiosa para orientar na tomada de decisões.

Estudos revelam que o sector da construção é responsável por cerca de metade dos recursos naturais consumidos assim como por metade dos resíduos gerados em cada país. [Ranham, 2004].

A sustentabilidade da construção passa por implementar soluções que minimizem o consumo de recursos materiais e energéticos e a produção de desperdícios, optimizando, de uma forma eficiente, a utilização dos recursos.

A arquitectura e engenharia compreendem actualmente estratégias bioclimáticas que visam o projecto e a construção de edifícios que garantam o conforto térmico dos seus utilizadores, tomando em consideração a sua envolvente climatérica e ambiental, promovendo, entre outros factores, a eficiência energética do edifício. O impacto das características como a orientação solar, o isolamento térmico ou mesmo a cor das paredes e tectos é fundamental para o desempenho energético de determinada construção.

O presente estudo evidenciou a aplicabilidade do sistema ATHENA contribuindo para mais um elemento de informação sobre os sistemas de avaliação da construção sustentável, o qual poderá servir de base para trabalhos futuros que visem o desenvolvimento de ferramentas nacionais.

Os resultados permitem concluir que a solução construtiva de estrutura de madeira é uma solução mais adequada do ponto de vista ambiental com os consumos de energia mais reduzidos, consumindo menos material, produzindo menos emissões e gerando menores quantidades de resíduos. A estrutura metálica apresenta-se como uma alternativa, trabalhando com materiais renováveis e garantindo um bom desempenho energético.

A construção sustentável e o ecodesign devem deixar de ser conceitos vagos, apenas dominados por um pequeno grupo de ambientalistas com uma visão utópica do mundo. Hoje são princípios obrigatórios em muitos países e que todos devemos respeitar em nome da preservação do nosso planeta, pese embora, as soluções correntes em Portugal ainda são as de betão, facto este comprovado no nosso estudo como não sendo a melhor solução nas questões ambientais, mas sim a que conduziu aos piores resultados.

De facto as casas de madeira são já uma escolha ecológica por excelência, quando associadas a sistemas de energias limpas, com elevado conforto térmico e acústico e com a vantagem de poderem ser construídas em poucas semanas. O recurso a materiais naturais ou reciclados com baixo impacto ambiental aliado às propriedades da madeira que é um material não radioactivo e não liberta gases nocivos ao ambiente, tornam ainda mais atractivo o uso deste material na construção de casas.

Mas a solução de betão ainda irá imperar nas nossas construções durante mais alguns anos devido aos aspectos económicos inerentes aos vários processos construtivos. A solução de betão é mais vantajosa economicamente devido à facilidade na obtenção das matérias – primas, no grande número de empreiteiros que dominam esta solução, levando a um menor custo na mão-de-obra e na falta de formação, informação e sensibilização dos nossos projectistas e técnicos nesta matéria, estando mais orientados para a execução da solução mais convencional.

Em Portugal, a falta de base de dados nacionais, leva-nos a recorrer às respectivas bases de dados dos programas utilizadas como ponto de partida, mas ficando bem claro que:

- 1 – Trata-se de dados estrangeiros que não necessariamente reflectem processos e condições utilizadas em Portugal, mas que podem nos trazer algumas mais valias e como tal merecem a nossa divulgação;
- 2 – Numa segunda fase, estas bases de dados próprias deverão ser oportunamente substituídas, na medida em que forem tratados os dados nacionais correspondentes e inseridos nas bases de dados do respectivo programa.

Para implementação deste sistema e de forma a obtermos dados “mais reais” dependeria muito da existência de valores de referência para as condições

particulares da construção em estudo, uma vez que a dificuldade de obtenção de dados de referência ou a inexistência dos mesmos tornou-se a maior dificuldade sentida durante a aplicação da ferramenta, pois com a utilização de valores do país de origem da ferramenta (Canadá), poderão estar distorcidos alguns resultados apresentados.

Para trabalhos futuros ficou bem claro que precisamos de alargar a base de dados nacional para avaliação destes impactos, com bases de dados totalmente voltados para a realidade portuguesa. Poderemos assim fomentar o aparecimento de novos trabalhos de investigação nesta área.

Em jeito de conclusão deixamos aqui algumas sugestões para quem estiver a comprar ou construir uma casa [Energua, 2008]:

- A orientação dos espaços de permanência deve ser a sul;
- A casa deve ser adequadamente isolada, preferencialmente pelo exterior;
- A espessura do isolamento deve ser pelo menos 6 centímetros nas paredes e 10 centímetros na cobertura;
- Deve ter vidros duplos em todas as áreas envidraçadas;
- As áreas envidraçadas a Sul, Nascente e Poente devem ter protecção solar exterior;
- Os sombreados exteriores devem ser reguláveis;
- As caixilharias devem ser de boa qualidade;
- Os materiais aplicados nas paredes devem permitir a permeabilidade ao vapor para permitir que a casa “respire”;
- O edifício deve ter sistemas energéticos centralizados;
- O edifício deve ter um sistema solar térmico para aquecimento de águas sanitárias;
- O edifício deve possuir electrodomésticos de classe A, A+ ou A++;
- O edifício deve possuir iluminação eléctrica de baixo consumo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGO, Design for Lifestyle and the future – Technical Manual, Australian Greenhouse Office, Australian Government, Australia, 2003.

Ahbe, S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R. Methodologie des Ecobilans sur la base de l'optimisation écologique. Em l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 1991.

BALDWIN, R.;LEACH,S.J.;DOGGART,J.V.;ATTENBOROUGH,M.P.BREEAM 1/90: "A environmental assessment for new office designs". BRE Report. Garston, CRC,1998.

BERGER, C; CANEVER, M. Comparativo entre Dados de Oferta e Demanda de Habitação no Mercado Imobiliário de Orleans. Tubarão: UNISUL, 2002. (Trabalho de conclusão de curso do curso de engenharia civil).

BRAGANÇA, LUIS E MATEUS, BRAGANÇA, "Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção", Prometeu Edições Ecopy, 2006.

Carvalho, Carla. Análise do ciclo de vida de Estruturas metálicas e de Estruturas de Betão. Projecto Individual. Guimarães – Portugal, 2004.

COUTINHO, MARIA JOANA, "Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento da Cofragem", FEUP Edições, 2005.

ELKINGTON, John. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. New Society Publishers Gabriola Island BC: Canada, 1998.

FERNANDEZ, João Alberto da Costa Ganzo; HOCHHEIM, Norberto. A variável localização e suas implicações mercadológicas. In: ENTAC98 – Encontro Nacional em Tecnologia do Ambiente Construído. Anais v. 1, p. 341-348.Salvador: 2000.

FERRÃO, PAULO CADETE, "Introdução à Gestão Ambiental: a avaliação do ciclo de vida", IST Press, 1998.

GABATHULER, H. "The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA". *Int. J. LCA*, vol. 2 (4) 187-194. Landsberg, Germany: Ecomed, 1997.

GERVÁSIO H E SIMÕES DA SILVA, L, "Sustainability and life Cycle Assessment of steel concrete composite plate girder bridges: A case study", Proceedings of the 4th European Conference on Composite Structures, Maastricht, Holanda.

Hill, Richard C.; Bowen, Paul A., "Sustainable construction: principles and a framework for attainment", *Construction Management and Economics* nº 15 pp. 223 – 239, Routledge, 1997.

HOWARD, N. "Environmental assessment methods in the UK", 2001. (Comunicação durante a reunião GBC em Santiago do Chile, Abril 2001).

International Standards Organization (ISO), Environmental Management – Life-Cycle Assessment – Principles and Framework, International Standard 14040, 1997.

ISO, Environmental Management – Life-Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Standard 14041, 1998.

ISO, Environmental Management – Life-Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment, International Standard 14042, 2000.

Jesus, L. N., Almeida, M. G. e Almeida, A. C., "Methodology for the application of sustainable construction", em *Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices*, L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Kibert, Charles J., "Proceedings on the 1st International Conference on Sustainable Construction", University of Florida Center for Construction, 1994.

Kohler, Niklaus, "The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective", Building Research & Information nº 27 pp. 309 - 320, Routledge, 1999.

Librelotto, Diógenes Rubert. Análise do Ciclo de Vida de Edificações Residenciais. Tese de Mestrado, Guimarães 2006

Mourão, J. E Pedro, J. B., "Sustainable Housing: from consensual guidelines to broader challenges", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Nações Unidas, "Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future", Publicação nº 225, Nações Unidas, 1987.

OFEFP - Office Fédéral de L'environnement, des Forêts et du Paysage. Bilan Écologique des Matériaux D'emballage. Cahiers de l'environnement, 24. Berne, 1984.

Publindústria, Energia: consulte aqui as soluções de energia mais eficientes para a sua habitação, Edição II, 2008.

SCHERER, F. M. e ROSS, David. Industrial market structure and economic performance. 3. ed. Boston: Houghton Mifflin Company, 1990.

Selih, J.; Sousa, A. C. M., "Life cycle assessment of construction processes", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

SETAC. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "code of practice". Pensacola (USA), 1993.

Silva, Vanessa G. Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Directrizes e Base Metodológica. Tese de Doutoramento. São Paulo, 2003.

USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *LCAccess - LCA 101*. 2001. Retrieved from: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>.

Sites a visitar na Internet:

www.athenasmi.ca/tools/impactEstimator
www.breeam.org/index.jsp
www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm
www.b-on.pt
www.adene.pt
www.apenergia.pt
www.apren.pt
www.construcaosustentavel.pt
www.dgge.pt
www.ecocasa.pt
www.edp.pt
www.eficiencia-energetica.com
www.energiasrenovaveis.pt
www.usaenergia.pt
[www. quercus.pt](http://www.quercus.pt)
www.verdesolar.com